সরল পদার্থবিজ্ঞান

গুপ্ত ও দেব

ব্লুক হোম • কলকাতা

উচ্চতর মাধ্যমিক শিক্ষা-সংসদ অনুমোদিত
পাঠক্রমে **একাদশ-দ্বাদশ** শ্রেণীর জন্য

সরল পদার্থ বিজ্ঞান

প্রথম খণ্ড ঃ প্রথম পত্র
সংশোধিত দ্বিতীয় মুদ্রণ

অধ্যাপক **অমূল্যভূষণ গুপ্ত**
প্রধান, পদার্থবিভাগ
ইণ্ডিয়ান স্ট্যাটিস্টিক্যাল ইনস্টিট্যুট, কলকাতা
ও
অধ্যাপক **মিহিরকান্তি দেব**
পদার্থবিজ্ঞান বিভাগ
মহারাজা বীরবিক্রম কলেজ, আগরতলা

বুক হোম
32 কলেজ রো
কলকাতা 700009

প্রকাশক
তড়িৎকুমার মজুমদার
বুক হোম
32 কলেজ রো
কলকাতা 700009

প্রথম প্রকাশ : অক্টোবর 1976
দ্বিতীয় মুদ্রণ : জুলাই 1978

Paper used for the printing of this book has been made available by the Government of India at a concessionl rate.

মূল্য : বারো টাকা

মুদ্রক : রাজধানী প্রিন্টিং
117/A বি. বি. গাঙ্গুলী স্ট্রীট
কলকাতা 7000012

নারায়ণ প্রেস
107/2 রাজা রামমোহন সরণী
কলকাতা 700009

দ্বিতীয় সংস্করণের ভূমিকা

প্রথম সংস্করণের বিষয়বস্তুকে কথঞ্চিৎ পরিমার্জিত ও পরিবর্তিত করে পুস্তকটির দ্বিতীয় সংস্করণের রূপ দেওয়া হল। ইতিমধ্যে ১৯৮০ সনের উচ্চ মাধ্যমিক পরীক্ষার্থীদের জন্য সংসদ মূল সিলেবাসের কিছু কিছু অংশ বর্জন করেছেন। এই বর্জনক্রিয়ার ফল ১৯৮০ সনের পরেও চলবে কিনা সে সম্পর্কে নিশ্চিত করে কেউই কিছু বলতে পারেন না। এই কারণে বর্তমান সংস্করণেও আমরা মূল সিলেবাসের রূপকে অক্ষুন্ন রাখা সমীচীন মনে করেছি। তবে সিলেবাস অংশে ১৯৮০ সনের জন্য বর্জিত বিষয়গুলি পৃথক করে চিহ্নিত হল; প্রয়োজনে পাঠ্যাংশ থেকে সহজেই সেগুলো বাদ দেওয়া চলবে। এ ছাড়া, বইটির শেষে আমরা একটি বিষয়সূচী সন্নিবেশিত করলাম।

যে বৈশিষ্ট্যগুলির জন্য পুস্তকের প্রথম সংস্করণ উচ্চ মাধ্যমিক শিক্ষাজগতে সাগ্রহে পরিগৃহীত হয়েছিল সেগুলি অক্ষুন্ন থাকায়, আশা করি, এ সংস্করণটিও তা থেকে বঞ্চিত হবে না।

পুস্তকটির আরও উন্নতিকল্পে আমরা সংশ্লিষ্ট সকলের কাছ থেকে সুচিন্তিত পরামর্শ ও উপদেশ প্রার্থনা করি। ইতি—

রথযাত্রা, ১৩৮৫ গ্রন্থকারদ্বয়

প্রথম সংস্করণের ভূমিকার অংশবিশেষ

উচ্চতর মাধ্যমিক শিক্ষা সংসদের নির্দেশ ও উদ্দেশ্য যথাযথ মেনে একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণীর জন্য যথেষ্ট যত্ন ও পরিশ্রম সহকারে এই পুস্তকটি লেখার চেষ্টা করা হয়েছে। কতদূর সাফল্য অর্জন করা গেছে তা সুধী শিক্ষক-শিক্ষিকামণ্ডলীর বিচার্য। দ্রুততার জন্য ছাপাসংক্রান্ত ত্রুটি-বিচ্যুতি ও ভ্রমপ্রমাদ সত্ত্বেও বিষয়বস্তুর দিক থেকে পুস্তকটির কিছু-বৈশিষ্ট্য সহজেই চোখে পড়বে বলে আমাদের বিশ্বাস। এগুলি হলঃ বিষয়বস্তুর আধুনিক ও ত্রুটিহীন উপস্থাপনা; চলিত ভাষার সারল্য ও সহজবোধ্যতা; অনাবশ্যক বাহুল্য বর্জিত স্বচ্ছ প্রকাশভঙ্গি; বিষয়বস্তুর বিকাশে নিখুঁত ও সুন্দর চিত্রাবলী; অপকেন্দ্র বল, ভারহীনতা, জেট ও রকেট প্রভৃতি বিষয়ের ব্যাখ্যা; সমাধানসহ বৈচিত্র্যময় গাণিতিক প্রশ্নাবলীর অজস্রতা; অনুশীলনের জন্য গাণিতিক ও বিবিধ প্রশ্নের বিচিত্র সম্ভার; বিভিন্ন ভৌতরাশির মানজ্ঞাপক তালিকা এবং শ্রী-মণ্ডিত গেট আপ।

ভবিষ্যতে পুস্তকখানিকে আরও উন্নত করার জন্য সংশ্লিষ্ট সকলের সুচিন্তিত পরামর্শ আমরা আন্তরিকভাবে কামনা করি। সেগুলি দ্বিতীয় সংস্করণে সন্নিবিষ্ট করার ইচ্ছা রইল। ইতি—

রাসপূর্ণিমা, ১৩৮৩ গ্রন্থকারদ্বয়

PHYSICS SYLLABUS

(Elective)

PAPER I (Marks—80)

1. MECHANICS

Particle Dynamics

Rest and motion, reference frame, displacement, velocity and acceleration, momentum, kinematical equations (in one dimension), elementary problems.

Scalars and Vectors, Composition and resolution of vectors. Representation of vector by co-ordinates. Addition of vectors by geometrical and analytical methods. Relative velocity and acceleration.

Newton's laws of motion, inertia, units of force, impulse and impulsive forces, conservation of linear momentum—elastic collisions of particles moving in the same line, jets and rockets. Friction, static and kinetic friction, co-efficient of friction.

Statics

Centre of mass, centre of gravity. Conditions of equilibrium of a system of particles.

Dynamics of circular motion

Rotational motion of a particle, angular velocity, angular acceleration, relation between angular velocity and linear velocity, angular momentum, moment of a force about a point and about an axis, torque, relation between angular momentum and torque (statement only), couples, centripetal force, centrifugal force (as a psuedo-force).

Work, Energy and Power

Definition of work, relevant units, work done by and against a force. Mechanical energy—kinetic and potential forms. Conservation of energy—with the case of a freely falling body as an example. Power—definition, units.

2. GENERAL PROPERTIES OF MATTER

Gravitation

Newton's law of universal gravitation. Constant of Gravitation (no experimental details on the determination of the Gravitational Constant). Gravitational attraction for extended bodies. Gravitational attraction of the earth. Laws of falling bodies. Variation of acceleration due to gravity. Simple pendulum. Motion of planets, satellites. Escape velocity (no deduction). Weightlessness in orbiting satellites.

Elastic properties of matter

Stress, strain, elastic limit, Hooke's law, elastic modulii Young's modulus, Bulk modulus, rigidity modulus, Poisson's ratio.

Hydrostatics

Density, Specific Gravity (methods of determination of Sp. Gr. not reduired), Archimedes' principle (demonstration), flotation, pressure in fluids, transmission of fluid pressure, Pascal's law and its applications. Air pressure and its measurement. Siphon, principles of lift pump, compression pump, vacuum pump.

Surface tension and Viscosity

Simple surface tension phenomena (illustrated with demonstrations). Motion in fluids—viscosity—streamline and turbulent flow (qualitative ideas).

3. HEAT

Recapitulation of basic concepts of heat and temperature.

Thermal expansions of solids and liquids. Simple demonstrations. Co-efficient of expansion for solids., relation between them. Application of expansion of solids.

Real and apparent expansions for liquids. Relation between expansion co-efficients. Anomalous expansion of water. Effect on marine life.

Thermal expansion of gases.

Boyle's law, Charle's law, Equation of state of an ideal gas ; volume and pressure co-efficient, Absolute scale of temperature.

Calorimetry

Preliminary definitions, principle of calorimetry (no questions on mesurement to be set). Calorimetric problems.

Change of State

Latent heat (brief discussions of determination), evaporation and boiling. Effect of pressure on melting point and boiling point.

Vapour pressure, Relative humidity. Dew, fog and cloud. Hygrometry, Regnault's hygrometer.

Mechanical equivalent of heat

Heat as a form of energy. Relation between the calorie and the erg. Determination of mechanical equivalent of heat (paddle method). First law of thermodynamics. Isothermal and adiabatic expansions of gases. Specific heats of gases—definition of Cp., Cv.

Kinetic Theory of Gases

Evidence of molecular struture of matter and of random molecular motion. Brownian movement (qualitative description). Basic assumptions of the kinetic theory of ideal gases. Pressure of an ideal gas (mention of the formula ; derivation not required). Concept of temperature from kinetic theory. Qualitative discussion of limitation of ideal gas law.

Transmission of Heat

Conduction of heat, simple demonstrations ; thermal conductivity. Practical applications of thermal conduction. Convection of heat, convection current. Radiation ; radiation as a form of energy ; Stefan's law—statement and applications.

4. VIBRATIONS AND WAVES

Vibrations

Oscillations and its characteristics. Simple harmonic motion, examples. Relation with uniform circular motion. Graphical and mathematical representations. Energy in simple harmonic motion. Superposition of two simple harmonic motions (graphical) in the same direction (i) in phase, (ii) in opposite phases.

Nature of vibrations—(transverse and longitudinal). Free and forced vibrations, resonance, damped oscillations (qualitative discussions with examples).

Waves

Types of waves, characteristic features of propagatiug waves, preliminary definitions and relations. Reflection and refraction of waves.

Superposition of waves ; stationary waves ; vibartions of strings and air columns.

Interference, beats, Doppler effect, polarization (qualitative discussions).

Nature of Waves

(i) Sound waves as elastic waves. Velocity of sound. Laplaces's formula (Newton's formula $V=\sqrt{E/\rho}$ to be assumed). Sources of sound. Musical sound and noise. Principles of recording and reproduction of sound.

(ii) Light as a wave phenomenon. Finite velocity of light. Interference of light, Polarization (qualitative ideas). Validity of geometrical optics as an approximation.

বিষয়-সূচী
(Contents)

*   *   *

In the **revised syllabus** for Higher Secondary Examination of West Bengal H. S. Council, the following changes are made for candidates appearing in 1980.

General Properties of Matter

Surface tension and viscosity : Simple surface tension phenomena (illustrated with demonstrations), motion in fluids—viscosity—streamline and turbulent flow (qualitative ideas)—**deleted**.

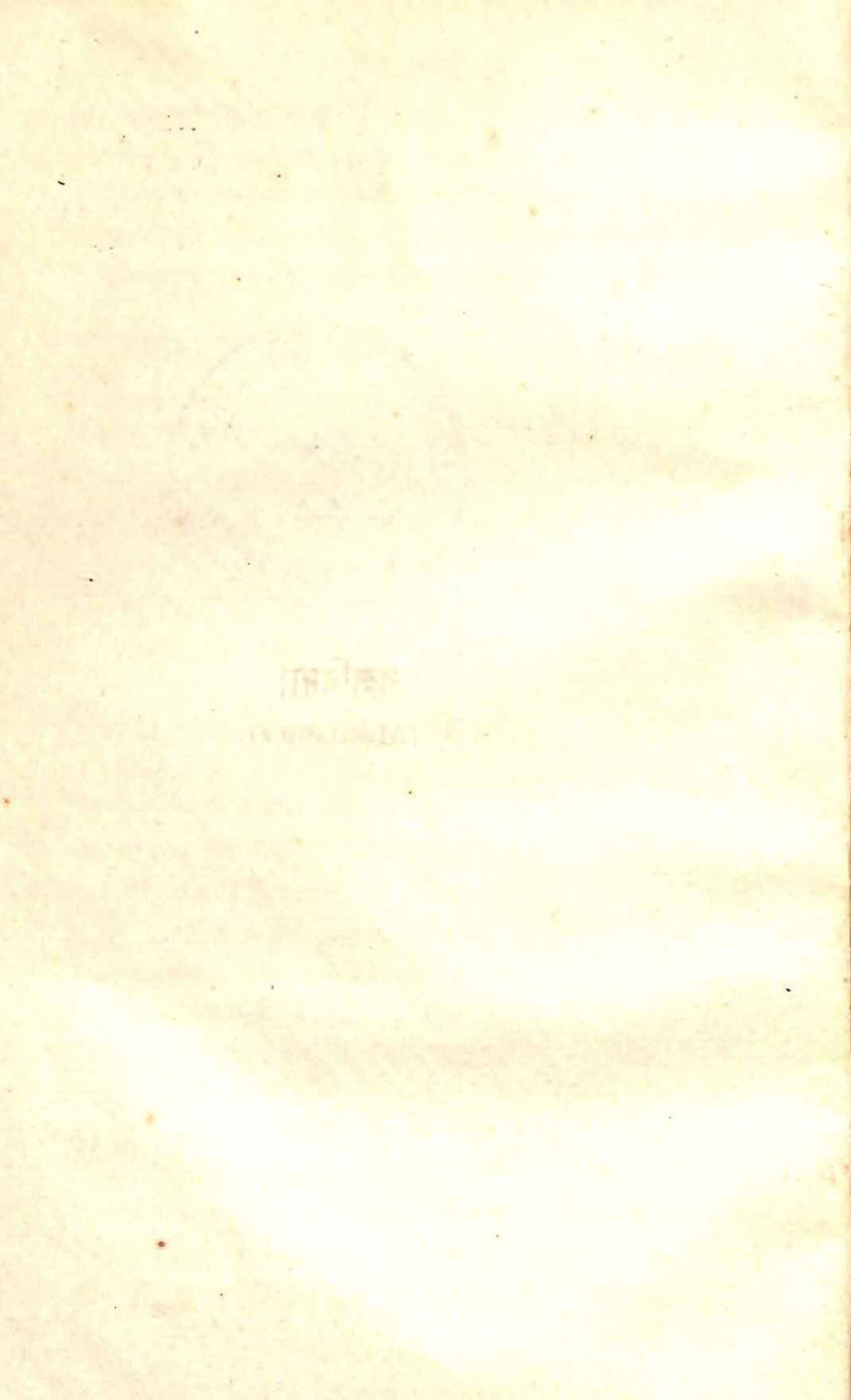
Heat : Isothermal and adiabatic expansions of gases. Specific heats of gases—definition of Cp, Cv—**deleted.**

Stefan's law—statement and application—**deleted.**

Vibrations and Waves

Principles of recording and reproduction of sound—**deleted.**

———

বলবিদ্যা
(Mechanics)

1 প্রথম অধ্যায় স্থিতি ও গতি (Rest and Motion)

1. 1 স্থিতি ও গতি (Rest and motion)

আমাদের চারপাশের বস্তুগুলোর কোন কোনটি সচল, কোনটি বা স্থির। যে বস্তুর অবস্থিতি সময়ের সঙ্গে পরিবর্তিত হয় না তাকে **স্থির** বা **অচল বস্তু** বলা হয়। যে বস্তু সময়ের সঙ্গে নিজের অবস্থিতির পরিবর্তন করে তাকে **সচল বস্তু** বলে। ঘরবাড়ি গাছপালা অচল বা স্থির। কিন্তু চলন্ত মোটর-গাড়ি বা ট্রেন গতিশীল অর্থাৎ সচল বস্তু।

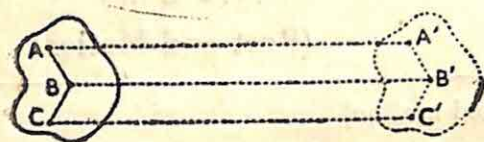
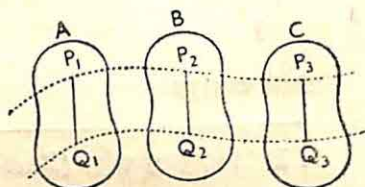
মহাশূন্যে অন্যান্য গ্রহের ন্যায় পৃথিবীও সচল। প্রতি 24 ঘণ্টায় সে একবার নিজ অক্ষের চারদিকে আবর্তন করে। কাজেই পৃথিবীপৃষ্ঠের ঘরবাড়ি, গাছপালা আমাদের কাছে অচল বোধ হলেও যদি পৃথিবীর বাইরের কোন গ্রহ বা জ্যোতিষ্ক থেকে কেউ আমাদের দেখত তবে বাড়িঘর, গাছগুলোও পৃথিবীর সঙ্গে ঘুরছে দেখতে পেত। বস্তুত বিশ্বে কোন বস্তুই স্থির নয় অর্থাৎ **চরম স্থিতি** (absolute rest) যে কি তা আমাদের জানা নেই।

তা হলে স্থির বা গতিশীল বস্তু বলতে আমরা কি বুঝবো? সাধারণত পারিপার্শ্বিকের সাপেক্ষে যদি কোন বস্তু সময়ের সঙ্গে স্থান পরিবর্তন না করে তবে তাকেই আমরা **স্থির বস্তু** বলি; আর যে বস্তু সময়ের সঙ্গে পারিপার্শ্বিক বস্তুর সাপেক্ষে স্থান পরিবর্তন করে সেটি **গতিশীল বস্তু**। কাজেই গতি বা স্থিতি **আপেক্ষিক** (relative) অবস্থা মাত্র।

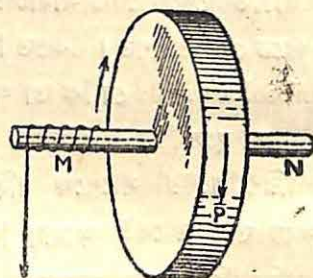
1. 2 চলন গতি ও ঘূর্ণন গতি (Translational and rotational motion)

পূর্বোক্ত অনুচ্ছেদ ক'টিতে আমরা গতি ও স্থিতির অর্থ বুঝেছি। এবার গতির প্রকারভেদ সম্পর্কে আলোচনা করা হচ্ছে।

গতি সাধারণত দুই প্রকার—**চলন গতি** (translation) এবং **ঘূর্ণন গতি** (rotation)।

যখন কোন বস্তু নির্দিষ্ট একটি বিন্দু থেকে ক্রমাগত দূরে সরে যায় তখন ঐ গতিকে **চলন গতি** বলে। চলন গতিতে বস্তুর সব বিন্দুগুলোর গতি অনুরূপ ; অর্থাৎ দুই বিন্দুর সংযোজক সরলরেখা (AB বা BC বা P_1 Q_1) নিজের সমান্তরালে সরে যায় (চিত্র 1 ও 2)। বস্তুটির এই চলন ক্রিয়া সরলরৈখিক

চিত্র 1

চিত্র 2

বা বক্ররৈখিক উভয় পথেই হতে পারে। সরলরেখায় ঘটলে আমরা বলি **ঋজুগতি** (rectilinear motion), আর বক্ররেখায় ঘটলে আমরা বলি **বক্র-গতি** (curvilinear motion)। একটা ঢিল ছুঁড়লে ঢিলের গতিপথ একটি বক্ররেখা—গতিটি বক্রগতি। উঁচু থেকে উল্লম্বভাবে নিচের দিকে এক টুকরা পাথর ফেলে দিলে পাথরটি সরলরেখা বরাবর পড়ে। এটি ঋজুগতি।

বস্তুর অপর গতির নাম **ঘূর্ণন গতি**। এই গতিতে বস্তুটি কোন একটি অক্ষের (চিত্র 3-এ MN) চারপাশে ক্রমাগত ঘুরতে থাকে। ঘূর্ণন গতিতে বস্তুটির বিভিন্ন বিন্দু অক্ষকে কেন্দ্র করে বিভিন্ন সমতলে বৃত্তাকার পথে আবর্তন করে। লাটিমের ঘূর্ণন গতির সঙ্গে তোমরা সকলেই পরিচিত। ঘড়ির কাঁটার গতিও ঘূর্ণন গতি। আমাদের পারিপার্শ্বিকে নানা ঘূর্ণন গতি সহজেই চোখে পড়ে।

চিত্র 3

কোন কোন বস্তুর গতিতে আবার একই সঙ্গে চলন ও ঘূর্ণন দুটিই দেখা যায়। যেমন একটি **স্ক্রু-র গতি**। ঘূর্ণনের সঙ্গে সঙ্গে সে এগিয়েও যায়।

এ ছাড়া, আরও নানাপ্রকার জটিল গতিও এই বিশ্বে দেখতে পাওয়া যায়। আমরা এই অধ্যায়ে কেবলমাত্র ঋজুরৈখিক চলন গতিতে আমাদের আলোচনা সীমাবদ্ধ রাখব।

1.3 নির্দেশক ফ্রেম (Frame of reference)

পৃথিবীর সন্নিহিত অঞ্চলের দেশে (space) বিভিন্ন দিকগুলো পরস্পর অভিন্ন মনে হয় না। যেমন, হাত থেকে কোন বস্তু পড়লে তা উল্লম্ব রেখায় পড়ে। স্থির তরলের পৃষ্ঠদেশ অনুভূমিক, কোন বস্তুকে সিধে ওঠাতে প্রারম্ভিক বেগ সঞ্চার করতে হয়, কিন্তু সিধে নিচে পড়ার বেলায় বেগ সঞ্চারের প্রয়োজন করে না, ইত্যাদি। বিভিন্ন দিকের এই ভিন্নতার কারণ পৃথিবীর অভিকর্ষ। কিন্তু পৃথিবী ও অন্যান্য গ্রহ-নক্ষত্র থেকে দূরে যেখানে বৃহদায়তন বস্তুপুঞ্জের কোন অস্তিত্ব নেই সেই **মুক্ত দেশে** (free space) বিভিন্ন দিক পরস্পর অভিন্ন। অর্থাৎ বিশেষ ধর্মযুক্ত কোন বিশেষ দিকের অস্তিত্ব মুক্ত দেশে পাওয়া যায় না। এই কারণে বলা হয়ঃ মুক্ত দেশ **দিকসম** (isotropic)

শুধু দিক-ই নয়, মুক্ত দেশের বিভিন্ন বিন্দুগুলোও পরস্পর অভিন্ন। বিশেষ ধর্মযুক্ত কোন বিশেষ বিন্দুর অস্তিত্ব সেখানে নেই। অর্থাৎ মুক্তদেশ **সমসত্ত্ব** (uniform)।

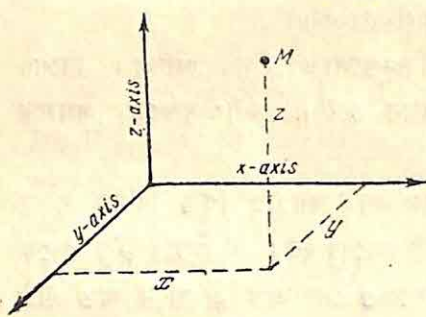
দেশের ন্যায় কালও সমসত্ত্ব। অর্থাৎ একই অবস্থায় কিন্তু বিভিন্ন সময়ে সংঘটিত ঘটনাগুলো গতি-প্রকৃতিতে একই রকমের হয়। 6 মিটার উঁচু থেকে একটা বল নিচে পড়তে আজ যদি 1.1 সেকেণ্ড নেয় তবে ঐ স্থানে অত উঁচু থেকে পড়তে বলটি এক মাস আগেও ঐ পরিমাণ সময় নিয়েছে, হাজার বছর পরেও তা-ই নেবে।

দেশ ও কালের এই সমসত্ত্ব ধর্ম এবং দেশের দিকসমত্ব থেকে কয়েকটি গুরুত্ব-পূর্ণ সিদ্ধান্ত করা চলে। এখানে একটির উল্লেখ করা হল। মুক্ত দেশের সকল বিন্দু পরস্পর অভিন্ন হওয়ায় একটিকে অন্যটি থেকে পৃথক করে চেনার উপায় নেই ; ফলে দেশের পরিপ্রেক্ষিতে কোন বস্তুকণার অবস্থান নির্ণয় সম্ভব নয়।

কিন্তু তা সম্ভব না হলেও কোন বস্তুকণার অবস্থান অন্য বস্তুকণার অবস্থানের পরিপ্রেক্ষিতে সহজেই নির্দেশ করা যায়। যেমন, ঘরের ছাদ থেকে একটা ল্যাম্প ঝুলছে ; ওর অবস্থান কি করে নির্দিষ্ট হবে ? তিনটি সংখ্যার সাহায্যে সহজেই এটি করা সম্ভব—একটি সংখ্যা মেঝে থেকে ল্যাম্পের উচ্চতা এবং আর দুটি সংখ্যা পরস্পর সমকোণে অবস্থিত দুই দেয়াল থেকে ল্যাম্পের দূরত্ব প্রকাশ করবে। এভাবে তিনটি সংখ্যার সাহায্যে ঘরের ভিতরে বা বাইরের যে কোন বস্তুর অবস্থান সঠিক নির্ণয় করা চলে। লক্ষ্য কর, ল্যাম্পের অবস্থান নির্দেশ করতে মেঝে ও দেয়াল দুটিকে অচল বা স্থির বলে ধরা হয়েছে।

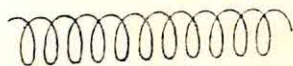
নির্দেশক ফ্রেম—নির্দেশক ফ্রেম বলতে এমন একটি বস্তু বা বস্তুপুঞ্জ বোঝায় যা আলোচ্য সমস্যায় অচল বলে ধরা যায় এবং যার পরিপ্রেক্ষিতে অন্যান্য বস্তুর অবস্থান নির্ণীত হয়।

সংজ্ঞানুসারে, যে কোন বস্তু নির্দেশক ফ্রেম হতে পারে। কিন্তু সব নির্দেশক ফ্রেম সমান স্থবিধাজনক নয়। যেমন, কোন মোটরগাড়ির গতি বর্ণনায় পার্থিব নির্দেশক ফ্রেম সৌর বা চান্দ্র নির্দেশক ফ্রেমের চেয়ে বেশি স্থবিধাজনক। কিন্তু গ্রহগতির ক্ষেত্রে সৌর নির্দেশক ফ্রেম সবচেয়ে বেশি স্থবিধার, কেননা ঐ ফ্রেমে গ্রহগতি সবচেয়ে সহজে প্রকাশ করা যায়।

সাধারণত **পরস্পর সমকোণে অবস্থিত তিনটি সরলরেখাকে অক্ষ** (axes of co-ordinates) **ধরে একটি নির্দেশক ফ্রেম স্থির করা হয়।** এই ফ্রেমে কোন বিন্দু M তিনটি স্থানাঙ্কের সাহায্যে নির্দিষ্ট হয়: M (x, y, z)। x-স্থানাঙ্ককে ভুজ (abscissa), y-স্থানাঙ্ককে কোটি (ordinate) বলে; z-স্থানাঙ্কের পৃথক কোন নাম নেই।

চিত্র 4

1.4 গতিপথ বা সঞ্চারপথ (Path or trajectory)

কোন নির্দেশক ফ্রেমে একটি গতিশীল বস্তুকণা যে রেখা উৎপন্ন করে তাকে ঐ ফ্রেমে বস্তুকণার **গতিপথ** বা **সঞ্চারপথ** বলে।

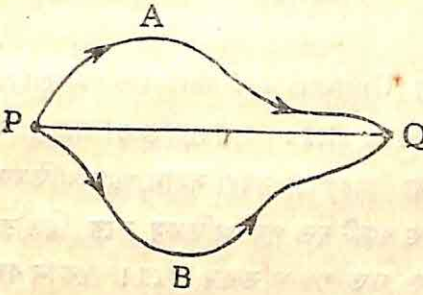
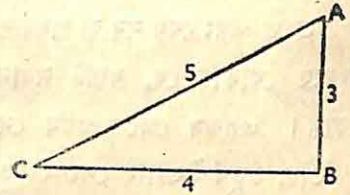
গতিপথের আকৃতি নির্দেশক ফ্রেমের উপর নির্ভর করে। ধরা যাক, পৃথিবীর পরিপ্রেক্ষিতে চলমান একটি ট্রেনের যাত্রীর হাত ফস্কে একটি বস্তু নিচে পড়ল। ট্রেনের ফ্রেমে বস্তুর গতিপথ একটি সরলরেখা, কিন্তু পৃথিবীর ফ্রেমে একটি বক্ররেখা (বায়ুর বাধা উপেক্ষা করলে একটি অধিবৃত্ত)। তেমনি উড়ন্ত প্লেনের প্রপেলারের কোন বিন্দুর গতিপথ প্লেনের ফ্রেমে একটি বৃত্ত, কিন্তু পৃথিবীর ফ্রেমে একটি হেলিক্স (helxi) ।

কাজেই পথের আকারের কোন চরম সত্তা নেই। আমরা শুধু বলতে পারি যে, এই ফ্রেমে গতিপথ এইরূপ।

1. 5 কয়েকটি সংজ্ঞা (Some definitions)

সরণ (Displacement)—কোনও চলমান বস্তুর প্রথম ও শেষ অবস্থিতির মধ্যে সরলরেখার দূরত্বকে ঐ বস্তুর **সরণ** বলে।

কোন বস্তু P থেকে Q-তে গেল। PAQ বা PBQ যে পথেই বস্তুটি P থেকে Q-তে যাক, PQ রেখাই বস্তুর সরণ।

আবার মনে করা যাক, বস্তুটি প্রথমে C থেকে B-তে গেল। CB=4 সেমি. এবং পরে B থেকে লম্বভাবে A-তে গেল। BA=3 সেমি.। তাহলে বস্তুর সরণ CA।

কিন্তু $CA^2 = CB^2 + BA^2 = 4^2 + 3^2 = 25 \quad \therefore CA = 5$ সেমি.

চিত্র 5

চিত্র 6

$\therefore$ বস্তুর সরণ $3+4=7$ সেমি. নয়, 5 সেমি.।

সরণের একক **সেণ্টিমিটার** (C. G. S.) বা **ফুট** (F. P. S.)।

সরণ একটি দিক্‌যুক্ত রাশি বা ভেক্টর (vector)। অর্থাৎ শুধু CA-র মান বললে সরণ বোঝায় না, ওর দিকও নির্দেশ করতে হয়। তীর চিহ্ন দিয়ে এই দিক নির্দেশ করা হয়ে থাকে। যেমন $\overrightarrow{CA}$।

দ্রুতি (Speed)—কোন বস্তু একক সময়ে যে দূরত্ব (সরল বা বক্র যে কোন পথে) অতিক্রম করে তাকে ঐ বস্তুর **দ্রুতি** বলে।

যদি কোন ট্রেন ঘণ্টায় 160 কিলোমিটার যাচ্ছে বলা হয়, তবে ওর দ্রুতি= ঘণ্টায় 160 কিলোমিটার। লক্ষ্য কর, ট্রেনের গতির কোন দিক উল্লেখ নেই। দ্রুতি দিক্‌হীন সংখ্যা বা স্কেলার (Scalar) অর্থাৎ কেবল মান আছে, দিক নেই।

$$\therefore \textbf{দ্রুতি} = \frac{\textbf{অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\textbf{সময়}}$$

দ্রুতির একক হল : **সেন্টিমিটার/সেকেণ্ড** (C.G.S.) বা **ফুট/সেকেণ্ড** (F.P.S.)

বেগ (Velocity)— একক সময়ে কোন বস্তুর যতখানি সরণ ঘটে তাকে ঐ বস্তুর **বেগ** বলা হয়।

$$\therefore \text{বেগ} = \frac{\text{সরণ}}{\text{সময়}}$$

যেহেতু সরণ নির্দেশ করতে দিক ও মান দুই-ই দরকার, সেহেতু বেগ একটি ভেক্টর রাশি। লক্ষ্য কর, বেগ দ্রুতির অনুরূপ বটে, তবে দিকৃযুক্ত হওয়ায় দ্রুতি থেকে পৃথক। দ্রুতির সঙ্গে দিক নির্দেশিত হলে বেগ হয়।

দ্রুতি ও বেগের একক কিন্তু অভিন্ন। কাজেই বেগের একক হল **সেন্টি-মিটার/সেকেণ্ড** বা **ফুট/সেকেণ্ড**।

1.6 সম এবং অসম দ্রুতি ও বেগ (Uniform and variable velocity)

দ্রুতি এবং বেগ সম বা অসম দুই-ই হতে পারে। **সম-দ্রুতি বা সম-বেগ** বলতে বোঝায় যে, বস্তুটি সমান সময় অবকাশে সর্বদা সমান দূরত্ব অতিক্রম করে। এরকম ক্ষেত্রে প্রথম সেকেণ্ডে বস্তুটি যত পথ অতিক্রম করে দ্বিতীয়, তৃতীয়, চতুর্থ ইত্যাদি সেকেণ্ডেও ঠিক তত পথ অতিক্রম করে। কোন বস্তু যদি t সেকেণ্ডে সম দ্রুতি বা বেগে s মিটার দূরত্ব অতিক্রম করে তবে ঐ বস্তুর **দ্রুতি** বা **বেগের মান** = s/t মিটার/সেকেণ্ড।

কিন্তু **সমান সমান** অবকাশে বস্তুটির দ্বারা অতিক্রান্ত দূরত্বের পরিমাণ যদি ভিন্ন ভিন্ন হয় তখন বলা হয় যে, বস্তুটি **অসম দ্রুতি বা বেগ-সম্পন্ন।** এরকম ক্ষেত্রে বস্তুটি প্রথম সেকেণ্ডে যতটা দূরত্ব অতিক্রম করে দ্বিতীয় সেকেণ্ডে তার চেয়ে বেশি কিংবা কম দূরত্ব অতিক্রম করে।

দ্রুতি ও বেগের পার্থক্য : দ্রুতি ও বেগের মধ্যে মৌলিক পার্থক্য এই যে, দ্রুতির ক্ষেত্রে দিক-নির্দেশ প্রয়োজন হয় না; কিন্তু বেগের ক্ষেত্রে দিক উল্লেখ না করলে বিবরণ অসম্পূর্ণ থাকে। সমগতিতে একটি বস্তু যদি কোন বৃত্তাকার পথে ঘুরতে থাকে তার দ্রুতি নিশ্চয়ই সম-দ্রুতি। কিন্তু তার বেগকে সমবেগ বলা চলে কি? বৃত্তাকার পথের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে যেতে বস্তুটির গতির অভিমুখ ক্রমাগত পরিবর্তিত হয় ফলে বৃত্তপথে সম-দ্রুতিতে ঘূর্ণ্যমান বস্তুটির বেগ অপরিবর্তিত থাকে না। বেগকে আমরা তখনই অপরিবর্তিত বলতে পারি যখন তার মান এবং দিক দুই-ই অপরিবর্তিত থাকে।

1. 7 ত্বরণ ও মন্দন (Acceleration and retardation)

কোন চলমান বস্তুর সরণের পরিমাণ প্রতি সেকেণ্ডে সমান না-ও হতে পারে। অর্থাৎ বেগের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটতে পারে। যে গতিতে বেগের বৃদ্ধি আছে তাকে **ত্বরিত গতি** (Accelerated motion) বলে। আর যে গতিতে বেগের হ্রাস আছে তাকে **মন্দগতি** (Retarded motion) বলে।

ত্বরণ (Acceleration)—একক সময়ে কোন বস্তুর বেগ যতটা বৃদ্ধি পায় তাকে **ত্বরণ** বলে অর্থাৎ সময়ের সঙ্গে বেগের বৃদ্ধির হার হল ত্বরণ। বেগের দিক ও মান দুই-ই আছে, কাজেই ত্বরণ একটি ভেক্টর রাশি।

$$\therefore \quad \text{ত্বরণ} = \frac{\text{বেগের বৃদ্ধি}}{\text{সময়}}$$

বেগের পরিবর্তন (বৃদ্ধি বা হ্রাস) মাপা হয় সেন্টিমিটার/সেকেণ্ড হিসাবে।

∴ ত্বরণের একক হবে **সেন্টিমিটার/সেকেণ্ড/সেকেণ্ড** বা **সেন্টিমিটার/সেকেণ্ড^2**; এফ্. পি. এস. পদ্ধতিতে **ফুট/সেকেণ্ড^2**।

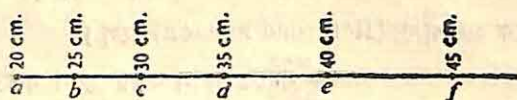
মন্দন (Retardation)—একক সময়ে কোন বস্তুর বেগ যতটা হ্রাস পায় তাকে ঐ বস্তুর **মন্দন** বলে অর্থাৎ সময়ের সঙ্গে বেগের হ্রাসের হার হল মন্দন। মন্দনকে **ঋণাত্মক ত্বরণ** বলা যেতে পারে।

$$\therefore \quad \text{মন্দন} = \frac{\text{বেগের হ্রাস}}{\text{সময়}}$$

লক্ষ্য কর ঃ ত্বরণের ক্ষেত্রে সময়ের একক দু-বার থাকে—একবার বেগের পরিবর্তন প্রকাশে, আর একবার যে সময়াবকাশে ঐ পরিবর্তন হয়েছে তা প্রকাশ করতে।

ত্বরণ হল বেগের পরিবর্তনের হার। কিন্তু বিভিন্ন সময়াবকাশে বেগের পরিবর্তন যদি বিভিন্ন মানের হয় তবে ঐ ঐ অবকাশে ত্বরণের মানও বিভিন্ন হবে। আমাদের আলোচনা সম-ত্বরণের ক্ষেত্রেই সীমাবদ্ধ থাকবে ; অর্থাৎ ধরে নেওয়া হবে যে, সমান সময়াবকাশে বস্তুর বেগের মান সমান পরিমাণে পরিবর্তিত হচ্ছে।

উদাহরণস্বরূপ, ধরা যাক, ক্রমবর্ধমান বেগসম্পন্ন একটি বস্তু প্রথম সেকেণ্ডে 20 মিটার পথ অতিক্রম করে (চিত্র 7 দ্রষ্টব্য)। মনে কর a, b, c, d, ইত্যাদি বিন্দুগুলি প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় ইত্যাদি সেকেণ্ডে বস্তুটির অবস্থান নির্দেশ করে। প্রথম সেকেণ্ডে বস্তুটির গড় বেগ তাই সেকেণ্ডে 20 মিটার।

পরবর্তী 1 সেকেণ্ডে বস্তুটি যদি 25 মিটার দূরত্ব অতিক্রম করে তবে ঐ সময়াবকাশে বস্তুটির গড় বেগ সেকেণ্ডে 25 মিটার। অতএব বস্তুটির গড় বেগ সেকেণ্ডে 5 মিটার বৃদ্ধি পেল। বস্তুটির বেগ বৃদ্ধির এই হার যদি বজায় রাখা

চিত্র 7

যায়, তবে বস্তুটি তৃতীয় সেকেণ্ডে 30 মিটার, চতুর্থ সেকেণ্ডে 35 মিটার পথ অতিক্রম করবে। অতএব গড় বেগের পরিবর্তনের হার 5 মিটার/সেকেণ্ড^2। এ ক্ষেত্রে বস্তুর বেগ সমহারে পরিবর্তিত হচ্ছে। বস্তুটি **সম-ত্বরণের** (uniform acceleration) অধীন। সম-ত্বরণযুক্ত বস্তুটির বেগ প্রতি সেকেণ্ড অন্তে নির্দিষ্ট পরিমাণে বৃদ্ধি পায়।

ভরবেগ (Momentum)—যে কোন মুহূর্তে কোন বস্তুর ভর এবং বেগের গুণফলকে ঐ বস্তুর **ভরবেগ** বলে। যদি বস্তুর ভর m হয় এবং v নির্দেশ করে বেগ তবে ভরবেগ p-র মান হল $p = mv$.

বস্তুর ভর m একটি স্কেলার রাশি, কিন্তু v একটি ভেক্টর রাশি। কাজেই এ দুটির গুণফল ভরবেগ একটি ভেক্টর রাশি।

ভরবেগ বস্তুর একটি বিশেষ ধর্ম সূচিত করে। যে বস্তু যত বেশি বেগে চলে তার গতি বন্ধ করতে তত বেশি বল (বলের সংজ্ঞা পরে দেখ) প্রয়োগ করতে হয়। অর্থাৎ কোন বস্তুর ভরবেগ যত বেশি হয় ঐ বস্তুর গতি বন্ধ করতে তত বেশি বল প্রয়োজন হয়। ধর, ঘণ্টায় 20 কিমি. বেগে গতিশীল কোন গাড়িকে থামাতে P বল দরকার কিন্তু ঐ গাড়ি যখন 40 কিমি. বেগে চলে তখন থামাতে $2P$ বল দরকার হয়। বেগ অপরিবর্তিত রেখে দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ভর দ্বিগুণ করা হলেও $2P$ বল লাগতো। ভরবেগ বস্তুর **গতি পরিমাণের** (amount of motion) সূচক।

1.8 **স্থিতিবিদ্যার সূত্রাবলী** (Kinematical Equations)

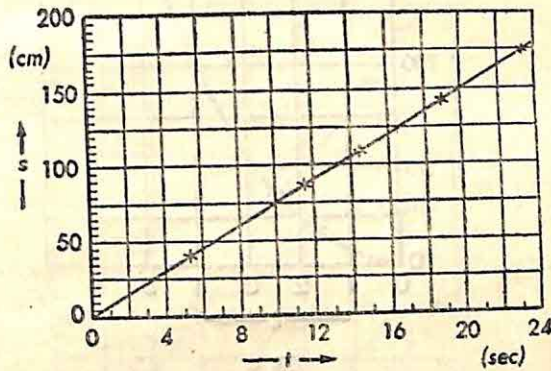
সরলরেখা বরাবর গতিশীল বস্তুর ক্ষেত্রে অতিক্রান্ত দূরত্ব, সময়, বেগ, ত্বরণ ইত্যাদির সম্পর্ক কতকগুলো সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। গ্যালিলিও সর্বপ্রথম স্থিতিবিদ্যার এই সূত্রগুলো আবিষ্কার করেন।

ধরা যাক, সরলরেখা বরাবর কোন বস্তুর প্রারম্ভিক বেগ $=u$; গতির অভিমুখে সমত্বরণ $=f$, প্রদত্ত সময়াবকাশ t শেষে অর্জিত বেগ $=v$ এবং উক্ত অবকাশে অতিক্রান্ত দূরত্ব $=s$

(i) **সমবেগ গতিতে সময়, দূরত্ব ও বেগের সম্পর্ক**

বস্তুর গতিতে যদি কোন ত্বরণ না থাকে তবে প্রতি একক সময়ে বস্তুটি u একক দৈর্ঘ্য অতিক্রম করবে। ফলে t সময়াবকাশে অতিক্রান্ত দূরত্ব

$$\mathbf{s=ut} \qquad \text{............(1)}$$

চিত্র 8

u ধ্রুবক বলে $s \propto t$; কাজেই এই সমীকরণের লেখচিত্র মূলবিন্দুগামী একটি সরলরেখা (চিত্র 8) ।

কিন্তু u যদি ধ্রুবক না হয় অর্থাৎ গতিতে যদি ত্বরণ থাকে তবে $s-t$ লেখচিত্র আর সরলরেখা হয় না (চিত্র 9 দেখ) ।

(ii) **সমত্বরণ গতিতে নির্দিষ্ট সময় অন্তে অন্তিম বেগ**

বস্তুটির প্রারম্ভিক বেগ u ; বস্তুটি যেহেতু সমত্বরণ f-এর অধীন, কাজেই একক সময়ে বেগ f পরিমাণ বৃদ্ধি পাবে এবং t সময়ে বেগের মোট বৃদ্ধি হবে ft ; অতএব t সেকেণ্ডে পরে অর্জিত বেগের মান

$$\mathbf{v=u+ft} \qquad \text{.........(2)}$$

অথবা, সংজ্ঞানুসারে

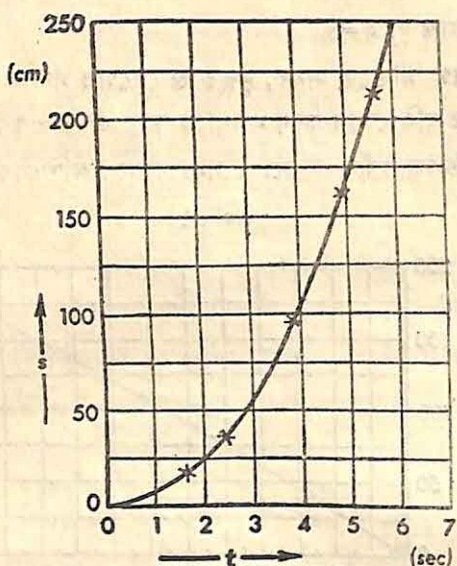
$$\text{ত্বরণ} = \frac{\text{অন্তিম বেগ} - \text{প্রারম্ভিক বেগ}}{\text{অতিক্রান্ত সময়}}$$

বা, $$f=\frac{v-u}{t}$$

বজ্রগুণন করে, $$v-u=ft$$

বা, $$\mathbf{v=u+ft} \qquad \text{.........(3)}$$

যদি কোন বস্তু মন্দনের অধীন হয় তা হলে f-র মান ঋণাত্মক হবে এবং আমরা সূত্রগুলোতে $-f$ বসাব।

চিত্র 9

বস্তুটি স্থিরাবস্থা থেকে যাত্রা করলে $u=o$; $\therefore \quad \mathbf{v=ft}$

(iii) **সমত্বরণে গতিশীল বস্তুর দ্বারা অতিক্রান্ত দূরত্ব**

প্রথম সেকেণ্ডের শেষে বেগ $=u+f$

শেষের 1 সেকেণ্ড আগে বেগ $=v-f$

$\therefore$ উক্ত দুই সেকেণ্ডের প্রত্যেকটিতে

গড় বেগ $= \dfrac{(u+f)+(v-f)}{2} = \dfrac{u+v}{2}$

আবার, প্রারম্ভের 2 সেকেণ্ড পরে বেগ $=u+2f$

সমাপ্তির 2 সেকেণ্ড আগে বেগ $=v-2f$

$\therefore$ উক্ত দুই সেকেণ্ডের প্রত্যেকটিতে

গড় বেগ $= \dfrac{(u+2f)+(v-2f)}{2} = \dfrac{u+v}{2}$

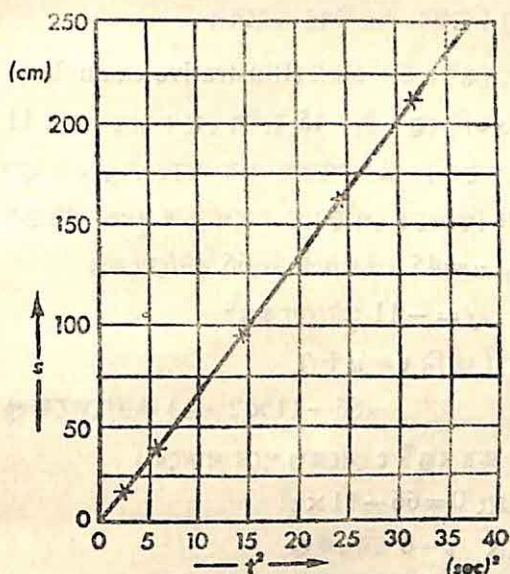
এভাবে প্রারম্ভ এবং সমাপ্তি থেকে সমদূরত্বে অবকাশের জোড়া ধরে হিসাব করলে দেখা যায় যে, সমগ্র সময় t ব্যাপে বস্তুটির গড় বেগ ছিল $\frac{1}{2}(u+v)$। যেহেতু বস্তুটি সমত্বরণযুক্ত সেহেতু বস্তুটি সমগ্র সময় ব্যাপে

এই গড় বেগে চলছে ধরা যায়। তাহলে t সেকেণ্ডে বস্তুটির দ্বারা অতিক্রান্ত পথ

$$s=\frac{u+v}{2}\times t$$

$$=\frac{u+u+ft}{2t}\times t$$

অথবা, $\mathbf{s=ut+\frac{1}{2}ft^2}$ ......(4)

বস্তুটি স্থিরাবস্থা থেকে যাত্রা করলে $u=o$; $\therefore$ $\mathbf{s=\frac{1}{2}ft^2}$

চিত্র 10

যেহেতু f সমত্বরণ, $f=$ধ্রুবক। কাজেই $s=\frac{1}{2}ft^2$ সূত্র থেকে $s \propto t^2$; অতএব s-t^2 লেখচিত্র মূলবিন্দুগামী একটি সরলরেখা (চিত্র 10)।

(iv) সমত্বরণে অন্তিম ও প্রারম্ভিক বেগ এবং দূরত্বের সম্পর্ক

সমীকরণ (2) থেকে আমরা পাই

$$v^2=(u+ft)^2$$
$$=u^2+2uft+f^2t^2$$
$$=u^2+2f\left(ut+\frac{1}{2}ft^2\right)$$
$$=u^2+2fs \qquad (\because \; s=ut+\frac{1}{2}ft^2)$$
$$\therefore \; \mathbf{v^2=u^2+2fs} \qquad \cdots\cdots(5)$$

বস্তুটি স্থিরাবস্থা থেকে যাত্রা করলে $u=o$; $\mathbf{v^2=2fs}$

(v) কোন বিশেষ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব

ধর t-তম সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্বকে s_t দ্বারা সূচিত করা হল।

$\therefore$ $s_t = t$ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব $-$ $(t-1)$ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব

$$=(ut+\tfrac{1}{2}ft^2)-\{u(t-1)+\tfrac{1}{2}f(t-1)^2\}$$

$$=u+\tfrac{1}{2}f(2t-1) \qquad \cdots\cdots(6)$$

গতি সম্পর্কিত এই সব সূত্রাবলী লেখচিত্রের সাহায্যেও প্রমাণ করা যায়। সেগুলো ছাত্রেরা নিজেরা অনুশীলন করবে।

1. 9. কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. একটি বস্তু ঘন্টায় 45 মাইল বেগে যাত্রা করে 11 ফুট/সেকেণ্ড^2 মন্দনে চলতে থাকে। 2 সেকেণ্ড পর তার বেগ কত হবে? কত সময় পরে থামবে এবং স্থিতিতে পৌঁছবার আগে কত দূরত্ব অতিক্রম করবে?

প্রশ্নানুসারে, $u=45$ মাইল/ঘন্টা $=66$ ফুট/সেকেণ্ড

$f=-11$ ফুট/সেকেণ্ড^2

(i) আমরা জানি $v=u+ft$

$=66-11\times2=44$ **ফুট/সেকেণ্ড**

(ii) মনে কর বস্তুটি t সেকেণ্ড পরে থামবে।

সুতরাং $0=66-11\times t$

অর্থাৎ $t=6$ **সেকেণ্ড**

(iii) আমরা জানি $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$

$=66\times6-\frac{1}{2}\times11\times6^2$

$=198$ **ফুট**

উদা. 2. স্থিরাবস্থা থেকে যাত্রা করে একটি বস্তু প্রথম 6 সেকেণ্ড 4 ফুট/সেকেণ্ড^2 সমত্বরণে এবং তারপর অর্জিত বেগে ত্বরণহীনভাবে 16 সেকেণ্ড চলে। এই অবস্থায় বস্তুটির উপর 2 ফুট/সেকেণ্ড^2 মন্দন প্রয়োগ করা হল এবং বস্তুটি অবশেষে স্থিরাবস্থায় পৌঁছল। স্থিরাবস্থায় আসার পূর্বে বস্তুটি কতদূর যাবে?

প্রথম 6 সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব $=0\times6+\frac{1}{2}\times4\times6^2=72$ ফুট।

6 সেকেণ্ড পর অর্জিত বেগ $=0+4\times6=24$ ফুট/সেকেণ্ড।

পরবর্তী 16 সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব $=24\times16=384$ ফুট।

ধরা যাক, স্থিরাবস্থায় আসার আগে বস্তুটি s ফুট অতিক্রম করে।

তা হলে $v^2 = u^2 + 2fs$ অনুযায়ী

$$0 = 24^2 - 2 \times 2 \times s$$

$$\therefore\ s = \frac{24 \times 24}{2 \times 2} = 144 \text{ ফুট}$$

$\therefore$ মোট অতিক্রান্ত দূরত্ব $= 72 + 384 + 144$ ফুট $=$ **600 ফুট**

উদা. 3. 60 সেমি/সেকেণ্ড প্রাথমিক বেগে যাত্রা শুরু করে একটি বস্তুকণা 6 সেকেণ্ডে 600 সেমি. দূরত্ব অতিক্রম করে। কণাটির ত্বরণ কত?

এখানে $u = 60$ সেমি/সেকেণ্ড $t = 6$ সেকেণ্ড, $s = 600$ সেমি.

আমরা জানি $\quad s = ut + \frac{1}{2} ft^2$

$$\therefore\quad 600 = 60 \times 6 + \tfrac{1}{2} f\,(6)^2$$

$$\text{বা}\quad 600 = 360 + 18f$$

$$\therefore\ f = \frac{240}{18} = \mathbf{13\tfrac{1}{3}} \text{ ফুট/সেকেণ্ড}^2$$

উদা. 4. স্থিরাবস্থা থেকে যাত্রা শুরু করে একটি ট্রেন 4 মিনিট সময়ে 30 মাইল/ঘণ্টা বেগ অর্জন করল। ঐ একই ত্বরণে চলতে থাকলে যাত্রা আরম্ভের 5 মিনিট পর ট্রেনটির্ বেগ কত হবে এবং ঐ সময়ে কত দূরত্ব অতিক্রম করবে?

এখানে $u = o$, $t = 4$ মি $= 4 \times 60$ সে

4 মিনিট পর বেগ $= v_1 = 30$ মাইল/ঘণ্টা $= 44$ ফুট/সেকেণ্ড

আমরা জানি $\quad v = u + ft$

$$\therefore\quad 44 = 0 + f \times 4 \times 60$$

$$\therefore\quad f = \frac{44}{4 \times 60} = \frac{11}{60} \text{ ফুট/সে}^2$$

মনে কর 5 মিনিট পর বেগ $= v_2$

$$\therefore\quad v_2 = 0 + 11/60 \times 5 \times 60 = 55 \text{ ফুট/সে}$$

ঐ সময়ে অতিক্রান্ত দূরত্ব যদি s হয়, তবে,

$$s = ut + \tfrac{1}{2} ft^2$$

$$= 0 \times 5 \times 60 + \tfrac{1}{2} \times \tfrac{11}{60} \times 5 \times 60 \times 5 \times 60$$

$$= 8250 \text{ ফুট} = \mathbf{1\tfrac{99}{176}} \text{ মাইল।}$$

উদা. 5. 60 মাইল/ঘণ্টা বেগে গতিশীল একটি ট্রেনে ব্রেক কষে 4 ফুট/সে^{2} মন্দন প্রয়োগ করা হল। 10 সেকেণ্ড পর ট্রেনের বেগ কত হবে? ট্রেনটি কতক্ষণ পর স্থির অবস্থায় আসবে?

এখানে $u = 60$ মাইল/ঘণ্টা $= 88$ ফুট/সে

$f = -4$ ফুট/সে^{2}

মনে কর, 10 সেকেণ্ড পরে বেগ $= v_1$

$\therefore \quad v_2 = u - ft = 88 - 4 \times 10 =$ **84 ফুট/সেকেণ্ড**

ধরা যাক ট্রেনটি t সেকেণ্ড পরে স্থির অবস্থায় আসে,

সুতরাং $0 = 88 - 4 \times t$ বা **t = 22 সেকেণ্ড।**

উদা. 6. একই স্টেশন থেকে পাশাপাশি লাইনে দুটি ট্রেন ছাড়া হল। প্রথম ট্রেনটি স্থিরাবস্থা থেকে যাত্রা করে 0·5 ফুট/সে^{2} ত্বরণে 15 মাইল/ঘণ্টা বেগ অর্জন করে ঐ বেগে চলতে থাকে। দ্বিতীয় ট্রেনটি প্রথমটির 40 সেকেণ্ড পরে 1 ফুট/সে^{2} ত্বরণে স্থিরাবস্থা থেকে যাত্রা করে 30 মাইল/ঘণ্টা বেগ অর্জন করে ঐ বেগে চলে। স্টেশন থেকে কতদূরে এবং কোন্ সময় দ্বিতীয় ট্রেনটি প্রথম ট্রেনকে অতিক্রম করবে?

প্রথম ট্রেনটির অর্জিত বেগ $= 15$ মাইল/ঘণ্টা $= 22$ ফুট/সে

দ্বিতীয় ট্রেনটির অর্জিত বেগ $= 30$ মাইল/ঘণ্টা $= 44$ ফুট/সে

মনে কর, প্রথম ও দ্বিতীয় ট্রেন তাদের যাত্রারম্ভের যথাক্রমে t_1 ও t_2 সেকেণ্ড পরে ঐ বেগ অর্জন করে।

$\therefore$ প্রথম ট্রেনের ক্ষেত্রে, $v = u + ft$ সূত্র থেকে,

$22 = 0 + \frac{1}{2} \times t_1 \quad (\because f = \frac{1}{2}$ ফুট/সে$^2)$

$\therefore \quad t_1 = 44$ সেকেণ্ড

দ্বিতীয় ট্রেনের ক্ষেত্রে,

$44 = 0 + 1 \times t_2 \qquad (\because \; f = 1$ ফুট/সে$^2)$

$\therefore \qquad t_2 = 44$ সেকেণ্ড।

মনে কর, দ্বিতীয় ট্রেনটির যাত্রা আরম্ভের t সেকেণ্ড পর, দ্বিতীয় ট্রেন প্রথম ট্রেনকে অতিক্রম করে। অতিক্রমের মুহূর্তে দুটি ট্রেন স্টেশন থেকে সমান দূরত্বে, ধর s দূরত্বে, অবস্থান করে।

প্রথম ট্রেনটি s দূরত্বে পৌঁছেছে $(t + 40)$ সেকেণ্ডে; তার মধ্যে 44 সেকেণ্ড সেটি ত্বরণের অধীনে এবং বাকি সময় 22 ফুট/সেকেণ্ড সমবেগে চলেছে।

সুতরাং $s=0\times 44+\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times 44^2+22(t+40-44)$

$$s=44\times 11+22(t-4) \quad\quad \text{..........(i)}$$

দ্বিতীয় ট্রেনটির কথা বিবেচনা করলে,

$$=0\times 44+\frac{1}{2}\times 1\times 44^2+44(t-44)$$

$$=44\times 22+44(t-44) \quad\quad \text{..........(ii)}$$

(i) ও (ii) থেকে, $44\times 22+44(t-44)=44\times 11+22(t-4)$

বা $44t-22t=44\times 11-44\times 22-4\times 22+44\times 44$

বা $22t=44\times 31$ $\quad\therefore\ t=62$ সেকেণ্ড

(i)-এ t-র মান বসিয়ে $s=$ **1760** ফুট।

উদা. 7. পৃথিবীপৃষ্ঠ থেকে উল্লম্বভাবে উৎক্ষিপ্ত একটি বস্তু 625 ফুট উচ্চতায় উঠে আবার নিচের দিকে পড়তে শুরু করে। উৎক্ষেপনের মুহূর্তে যদি বস্তুটির বেগ 200 ফুট/সেকেণ্ড হয় তবে পৃথিবীর আকর্ষণের দরুন বস্তুটির উপর কত মন্দন ক্রিয়াশীল হয়?

ধরা যাক, নির্ণেয় মন্দনের মান f ফুট/সে^{2}

আমরা জানি, $v^2=u^2+2fs$

এখানে $v=0$, $u=200$ ফুট/সে, $s=625$ ফুট

$\therefore\ 0^2=(200)^2-2\times f\times 625$ (ঋণাত্মক চিহ্ন মন্দনের জন্য)

বা $f=\dfrac{200\times 200}{2\times 625}=32$ ফুট/সে^{2}

অর্থাৎ পৃথিবী কর্তৃক বস্তুর উপর 32 ফুট/সে^{2} মন্দন প্রযুক্ত হবে।

লক্ষ্য কর: উপর থেকে বাধাহীনভাবে পতনশীল বস্তুর ক্ষেত্রে এই মন্দন ত্বরণ হয়ে দেখা দেয়। এই ত্বরণকে **অভিকর্ষ ত্বরণ** বলে। একে g দিয়ে সূচিত করা হয়।

উদা. 8. সমত্বরণে চলমান একটি বস্তুকণা গতির দ্বাদশ ও ষোড়শ সেকেণ্ডে যথাক্রমে 72 সেমি. এবং 96 সেমি. পথ অতিক্রম করে। বস্তুকণার প্রারম্ভিক বেগ ও ত্বরণ কত?

$s_t=u+\frac{1}{2}f\,(2t-1)$ সমীকরণ থেকে, প্রশ্নানুসারে,

$$72=u+\tfrac{1}{2}f\,(2\times 12-1) \quad\quad \text{..........(i)}$$

এবং $96=u+\frac{1}{2}f\,(2\times 16-1)$ ....(ii)

(i) ও (ii) থেকে $96-72=\frac{1}{2}f(31-23)$

বা $24=\frac{1}{2}f.8 \quad \therefore f=\mathbf{6}$ **সেমি/সে**^{2}

f-র মান (i) বসিয়ে, $72=u+\frac{1}{2}.6\times 23$

বা $u=72-69=\mathbf{3}$ **সেমি./সে**

অনুশীলনী

1. নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা লেখ :

(i) দ্রুতি, (ii) বেগ, (iii) ত্বরণ, (iv) ভরবেগ, (v) সরণ।

2. দ্রুতি ও বেগের মধ্যে পার্থক্য কি ?

3. ত্বরণের এককে সময়ের একক দু-বার ব্যবহার করা হয় কেন ?

4. স্থিরাবস্থা থেকে যাত্রা করে 2 মিনিট পর কোন বস্তু ঘণ্টায় 30 মাইল বেগ লাভ করল। বস্তুটির ত্বরণ কত ?

5. চরম স্থিতি বলে কিছু নেই—ব্যাখ্যা কর।

6. সেকেণ্ডে 30 ফুট বেগে চলন্ত একটি ট্রেন 4 ফুট/সেকেণ্ড^2 ত্বরণ লাভ করে। 15 সেকেণ্ডে ট্রেনটি কত দূর যাবে ? [900 ফুট]

7. স্থিরাবস্থা থেকে যাত্রা করে একটি ট্রাক 10 সেকেণ্ডে ঘণ্টায় 45 মাইল বেগ অর্জন করল। ট্রাকের ত্বরণ কত ? ঐ সময়ে ট্রাক কত দূর যায় ? [6.6 ফু/সে^{2} ; 330 ফু]

8. 200 সেণ্টিমিটার দূরত্ব অতিক্রম করার সময় একটি বস্তুর বেগ 20 থেকে বৃদ্ধি পেয়ে 50 সেমি/সেকেণ্ড হল। বস্তুটির ত্বরণ কত ছিল ? [5·25]

9. কোন নির্দিষ্ট অবকাশে বস্তু দ্বারা অতিক্রান্ত দূরত্ব বলতে কি বুঝায় ?

10. কোন বস্তুকণা গতির পঞ্চম সেকেণ্ডে 25 সেণ্টিমিটার এবং সপ্তম সেকেণ্ডে 33 সেণ্টিমিটার দূরত্ব অতিক্রম করল। দেখাও যে, বস্তুকণার প্রাথমিক বেগ 7 সেমি/সেকেণ্ড এবং ত্বরণ 4 সেমি/সেকেণ্ড^2।

11. A বিন্দু থেকে যাত্রা করে একজন প্রথমে 30 মিটার সোজা দক্ষিণে এবং তারপর 40 মিটার সোজা পূবদিকে গেল। আর একজন ঐ A বিন্দু থেকে যাত্রা আরম্ভ করে 70 মিটার সোজা দক্ষিণে গেল।

(i) A বিন্দুর সাপেক্ষে দুই ব্যক্তির সরণ কত ?

(ii) চূড়ান্ত অবস্থায় দ্বিতীয় ব্যক্তির সাপেক্ষে প্রথম ব্যক্তির সরণের মান ও দিক কি হবে ? [70 মি. দক্ষিণ, 50 মি. দক্ষিণ-পূর্ব ; $40\sqrt{2}$ মি. উত্তর পূর্ব]

11. ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে গতিশীল একটি ট্রেনকে ব্রেক কষে 1 মিনিটে থামিয়ে দেওয়া হল। প্রযুক্ত মন্দনের মান কত এবং ব্রেক প্রয়োগ করার পর থেকে ট্রেনটি কত দূরত্ব অতিক্রম করবে? [$\frac{11}{15}$ ফুট/সে^{2} ; $\frac{1}{4}$ মাইল]

12. সমত্বরণে গতিশীল কোন বস্তু পঞ্চম সেকেণ্ডে 76 ফুট এবং দশম সেকেণ্ডে 160 ফুট পথ অতিক্রম করে। বস্তুটি পঞ্চদশ সেকেণ্ডে কত পথ অতিক্রম করে? [156 ফুট]

13. স্থিরাবস্থা থেকে ছুটি গাড়ি পাশাপাশি চলতে শুরু করলো। প্রথম গাড়িটি 15 সেকেণ্ড ব্যাপী 3 ফুট/সেকেণ্ড^2 ত্বরণে অগ্রসর হয়ে তারপর সমবেগে চলতে থাকে। দ্বিতীয় গাড়িটি বরাবর 25 ফুট/সে^{2} সমত্বরণে গতিশীল থাকে। যাত্রার 25 সেকেণ্ড পরে গাড়ি ছুটির অবস্থান কি রকম হবে?

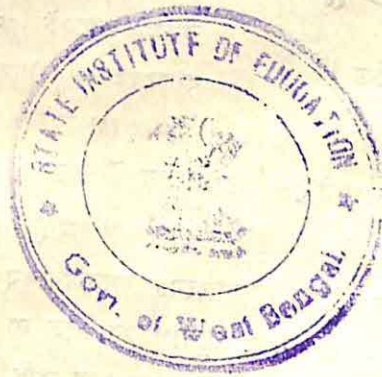
[গাড়ি ছুটির ব্যবধান হবে 7025 ফুট]

14. স্থিরাবস্থা থেকে যাত্রা করে একটি ট্রেন 6 সেকেণ্ড 3 ফুট/সেকেণ্ড^2 ত্বরণের অধীনে চলে অর্জিত বেগে আধ মিনিট চলার পর ব্রেক কষার দরুন 5 সেকেণ্ডে পুনরায় স্থিরাবস্থায় আসে। ট্রেনটির সর্বোচ্চ বেগ ও অতিক্রান্ত মোট দূরত্ব নির্ণয় কর। [18 ফুট/সে ; 639 ফুট]

15. v_1 ফু/সে বেগে গতিশীল একটি ট্রেনের চালক সামনে a ফুট দূরে একই লাইনে v_2 ফু/সে বেগে গতিশীল একটি মালগাড়ি দেখেই সংঘর্ষ এড়াতে ব্রেক কষলো। ব্রেকের ফলে ট্রেনে f ফু/সে^{2} সমমন্দন সৃষ্টি হল। দেখাও যে, সংঘর্ষ হবে কি না তার শর্ত $a <$ বা $> (v_1 - v_2)/^2 2f$; (ধর, $v_1 > v_2$)।

2

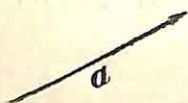
দ্বিতীয় অধ্যায়

স্কেলার ও ভেকটর (Scalars & Vectors)

2. 1 স্কেলার ও ভেকটর (Scalars & Vectors)

যে সকল ভৌত রাশি প্রকাশ করতে কেবলমাত্র মান উল্লেখ করতে হয় এবং যারা সাধারণ পাটীগাণিতিক নিয়মের অধীন তাদের **স্কেলার রাশি** বলে। এক ব্যক্তি সকালে 5 ঘণ্টা এবং বিকালে 4 ঘণ্টা কাজ করে, তা হলে সারাদিনে সে $5+4=9$ ঘণ্টা কাজ করে। এখানে মোট সময় পাটীগণিতের নিয়মে যোগ করে পাওয়া যায়, ফলে সময় একটি স্কেলার রাশি। একই কারণে বস্তুর ভর, দ্রুতি, দৈর্ঘ্য প্রভৃতি প্রত্যেকে এক একটি স্কেলার রাশি।

যে সকল ভৌতরাশি প্রকাশ করতে মান ও দিক উল্লেখের প্রয়োজন তাদের **ভেকটর রাশি** বলে। কোন লোক একটি নির্দিষ্ট বিন্দু থেকে 20 মিটার সরে গেছে বললে তার নতুন অবস্থান সম্পর্কে সম্পূর্ণ ধারণা করা যায় না। ঐ বিন্দু থেকে সে কোন্ দিক বরাবর সরে গেছে তা-ও বলা প্রয়োজন। অতএব সরণকে সম্পূর্ণভাবে প্রকাশ করতে তার মান এবং দিক দুই-ই উল্লেখ করতে হয়। সরণ একটি ভেকটর রাশি।

কোন নির্দেশক ফ্রেমে যে কোন ভেকটর রাশি **a**-কে তীরযুক্ত সরলরেখার সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। তীরের অভিমুখ দিক নির্দেশ করে এবং সরলরেখার দৈর্ঘ্য ভেকটর রাশির মান প্রকাশ করে। কাজেই সমস্ত ভেকটর রাশির তিনটি বৈশিষ্ট্য থাকবে: (i) **মান** (magnitude) (ii) **অভিমুখ** (direction) ও (iii) **প্রয়োগ বিন্দু** (point of application)। বেগ, ত্বরণ, বল ইত্যাদি ভেকটর রাশির উদাহরণ।

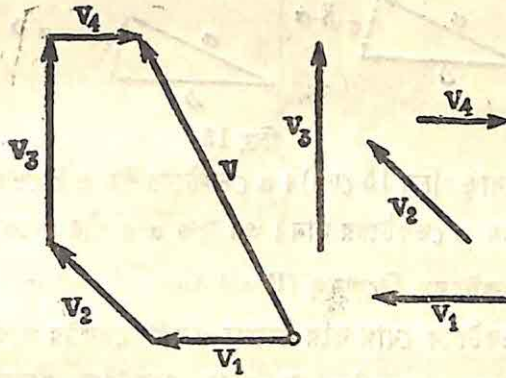
a

চিত্র 11

2. 2 ভেকটরের সংযোজন (Composition of vectors)

ভেকটরের সংযোজনের ক্ষেত্রে বিশেষ নিয়ম অনুসরণ করতে হয়, এক্ষেত্রে পাটীগণিতের নিয়ম প্রয়োগ করা চলে না।

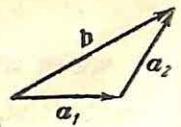
দুই বা ততোধিক ভেকটরের সম্মিলিত ফলের সমান ফলবিশিষ্ট একটি ভেকটরকে প্রথমোক্ত ভেকটরগুলির **লব্ধি** (Resultant) বলা হয়। এই

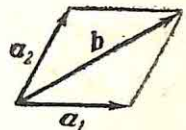
লব্ধি বা যোগফল বের করার প্রক্রিয়াকে **ভেকটর সংযোজন** (Composition of vectors) বলে।

ভেকটর সংযোজনের বহুভুজ পদ্ধতি (Polygon method)—ধর, $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \mathbf{v}_3, \mathbf{v}_4$ চারটি ভেক্টর। এদের লব্ধি বা যোগফল নির্ণয় করতে হবে। প্রতিটি ভেকটরকে পর্যায়ক্রমে এমনভাবে সাজাও যে, প্রথমটির শীর্ষে দ্বিতীয়টির

চিত্র 12

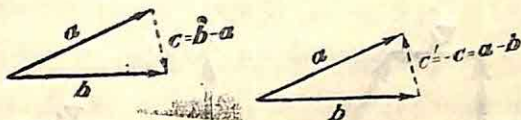
পাদবিন্দু, দ্বিতীয়টির শীর্ষে তৃতীয়টির পাদবিন্দু,···ইত্যাদি বসে। প্রক্রিয়ার শেষে প্রথমটির পাদবিন্দু ও শেষ ভেকটরের শীর্ষ যুক্ত কর। প্রথম ভেকটরের পাদবিন্দুকে উৎপন্ন রেখার পাদবিন্দু এবং শেষ ভেকটরের শীর্ষকে শীর্ষবিন্দু ধরে যে ভেকটর পাওয়া গেল তা-ই লব্ধি ভেকটর $\mathbf{v}$। কাজেই

$$\mathbf{v}=\mathbf{v}_1+\mathbf{v}_2+\mathbf{v}_3+\mathbf{v}_4$$

ভেকটর সংযোজনের ত্রিভুজ সূত্র (Triangle method)—ধরা যাক দুটি ভেকটর $\mathbf{a}_1$ ও $\mathbf{a}_2$ দেওয়া আছে। এবার $\mathbf{a}_1$-র শীর্ষ বিন্দু থেকে $\mathbf{a}_2$ অঙ্কন কর; এখন $\mathbf{a}_1$-র পাদবিন্দু থেকে $\mathbf{a}_2$-র শীর্ষ বিন্দু পর্যন্ত অঙ্কিত ভেকটর $\mathbf{b}$-কে $\mathbf{a}_1$ ও $\mathbf{a}_2$-র যোগফল বা লব্ধি বলা হয়। $\therefore\ \mathbf{b}=\mathbf{a}\ +\mathbf{a}_2$

চিত্র 13

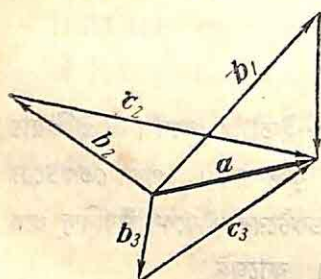
ভেকটর সংযোজনের সামান্তরিক সূত্র (Parallelogram method)—একথা সহজেই বোঝা যায় যে, দুটি ভেকটর $\mathbf{a}_1$ ও $\mathbf{a}_2$ দেওয়া থাকলে, $\mathbf{a}_1$-র পাদ বিন্দুতে $\mathbf{a}_2$ অঙ্কন করে $\mathbf{a}_1$ ও $\mathbf{a}_2$-কে সন্নিহিত বাহু ধরে সামান্তরিকটি অঙ্কন করলে $\mathbf{a}_1$ ও $\mathbf{a}_2$-র মিলনবিন্দুগামী কর্ণ $\mathbf{b}$ হল $\mathbf{a}_1$ ও $\mathbf{a}_2$-র লব্ধি।

চিত্র 14

লক্ষ্য কর : দুই বা ততোধিক সমান্তরাল ভেকটরের ক্ষেত্রে উপরের পদ্ধতিগুলির সাহায্যে লব্ধি নির্ণয় করা সম্ভব নয়। এ সম্পর্কে সমান্তরাল বলের লব্ধি নির্ণয় অনুচ্ছেদ পরে দেখ।

দুই ভেকটরের বিয়োগফল : দুই ভেকটর **b** ও **a**-এর বিয়োগফলও একটি ভেকটর **c** ; অর্থাৎ $\mathbf{c}=\mathbf{b}-\mathbf{a}$; **c** ভেকটর নির্ণয়ের রীতি : **b**-এর পাদবিন্দুতে

চিত্র 15

a-র পাদবিন্দু বসাও (চিত্র 15 দেখ)। **a** ভেকটরের শীর্ষ ও **b** ভেকটরের শীর্ষ যোগ কর। উৎপন্ন রেখা **c** ভেকটরের মান। এর দিক **a**-র শীর্ষ থেকে **b**-র শীর্ষমুখী।

2. 3 ভেকটরের বিশ্লেষণ (Resolution of vectors)

একাধিক ভেকটরকে যোগ করে যেহেতু একটি ভেকটর পাওয়া যায় সেহেতু যে কোন ভেকটরকে প্রয়োজনে একাধিক ভেকটরে **বিশ্লেষণ** করা যায়। 16 নং চিত্র লক্ষ্য করলে বিষয়টি আরো স্পষ্ট উপলব্ধি করা যাবে। **a** ভেকটরটিকে আমরা $\mathbf{b}_1$ এবং $\mathbf{c}_1$ এই দুটি ভেকটরের লব্ধি ভাবতে পারি। আবার ঐ একই ভেকটর **a**-কে আমরা $\mathbf{b}_2$ এবং $\mathbf{c}_2$ ভেকটরের লব্ধি বলেও ভাবতে পারি। আবার **a**-কে $\mathbf{b}_3$, $\mathbf{c}_3$ ভেকটরদ্বয়ের লব্ধিও ভাবা যায়। তা হলে

চিত্র 16

$$\mathbf{a}=\mathbf{b}_1+\mathbf{c}_1=\mathbf{b}_2+\mathbf{c}_2=\mathbf{b}_3+\mathbf{c}_3$$

অতএব একটি ভেকটরকে নানাভাবে বিশ্লেষণ করা যায়। কিন্তু যে বিশ্লেষণে বিশ্লিষ্ট **উপভেকটর দুটি পরস্পর সমকোণে** থাকে প্রয়োগের দিক থেকে সে দুটি গুরুত্বপূর্ণ।

মনে কর $\vec{F}=\vec{OA}$ একটি ভেকটর। একে আমরা পরস্পর সমকোণে অবস্থিত OX এবং OY এই দু-দিক বরাবর বিশ্লেষণ করতে চাই। A থেকে OX এবং OY রেখাদ্বয়ের উপর AB এবং AC লম্ব ফেল। চিত্র 17 থেকে স্পষ্টত

$$\vec{OA}=\vec{OB}+\vec{BA}$$

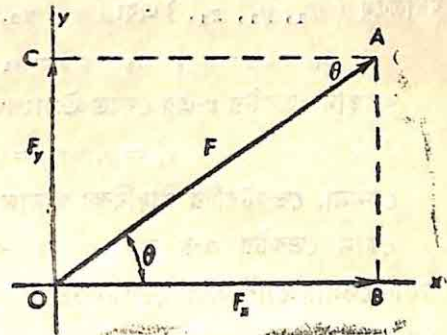
কিন্তু, $\vec{BA} = \vec{OC}$; তা হলে OB ও OC হল $\vec{F}$ ভেক্টরের নির্ণেয় উপাংশ F_x ও F_y ; স্পষ্টত

$$F_x = \vec{OB} = \vec{OA} \cos \theta$$

$$F_y = \vec{OC} = \vec{OA} \sin \theta$$

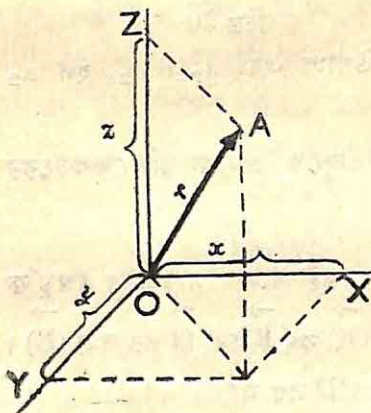
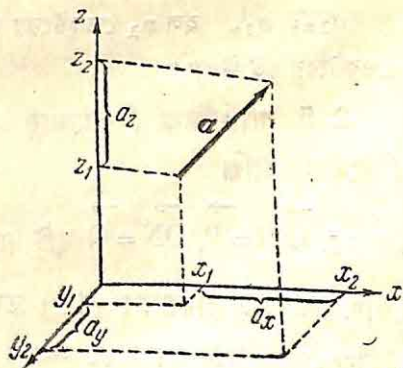
$\vec{OB}$ ও $\vec{OA}$-র মধ্যবর্তী কোণ θ

এবং $\tan \theta = \dfrac{OC}{OB} = \dfrac{F_x}{F_y}$

F_x ও F_y কে ভেকটরের **সমকৌণিক উপাংশ** (resolved parts) বলে।

চিত্র 17

2.4 কো-অর্ডিনেটের সাহায্যে ভেকটরের প্রকাশ (Vector representation by co-ordinates)

মনে কর $\vec{OA}$ যে কোন একটি ভেকটর। একে স্থানাঙ্ক বা কো-অর্ডিনেটের সাহায্যে প্রকাশ করা চলে।

যে ভেকটরের পাদবিন্দু মূলবিন্দুর (origin) সঙ্গে সমবিন্দু এবং যার শীর্ষ কোন বস্তুকণার অবস্থান সূচিত করে তাকে **অবস্থান ভেকটর** (position vector) বা **ব্যাসার্ধ ভেকটর** (radius vector) **r** বলে (18 নং চিত্র)।

চিত্র 18

চিত্র 19

যে কোন ভেকটর **a**-কে অক্ষ বরাবর **উপাংশে** (components) ভাগ

করা যায় (চিত্র 19)। x, y ও z অক্ষ বরাবর উপাংশগুলোকে যথাক্রমে a_x, a_y, ও a_z দ্বারা সূচিত করা হয়। a-র পাদবিন্দু ও শীর্ষের স্থানাঙ্ক যথাক্রমে ($x_1, y_1, z_1,$) এবং (x_2, y_2, z_2) হয় তবে

$$a_x = x_2 - x_1, \quad a_y = y_2 - y_1, \quad a_2 = z_2 - z_1$$

অবস্থান ভেকটর $\mathbf{r}$-এর ক্ষেত্রে উপাংশগুলো যথাক্রমে

$$r_x = x, \quad r_y = y, \quad r_z = z$$

কেননা, ভেকটরটির পাদবিন্দুর স্থানাঙ্ক (0, 0, 0,)।

কোন ভেকটর $\mathbf{a}$-র মান $|a|$ বা a-দ্বারা সূচিত করা হয়। এই 'মান' একটি স্কেলার রাশি এবং ভেকটরসূচক সরলরেখাটির দৈর্ঘ্যের সমান। পীথাগোরাসের উপপাদ্য অনুসারে

$$|a| = a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

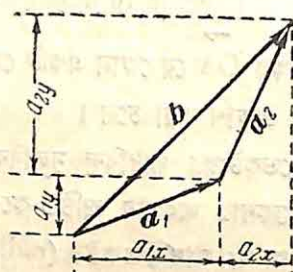
$$= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

অবস্থান ভেকটরের মান

$$|r| = r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

20 নং চিত্রে স্পষ্টত $\mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_2 = \mathbf{b}$ এবং $\mathbf{b}$ ভেকটরের x ও y অক্ষ বরাবর উপাংশ যথাক্রমে

$$b_x = a_{1x} + a_{2x}$$

এবং $$b_y = a_{1y} + a_{2y}$$

চিত্র 20

a_{1x}; a_{1y} হল $\mathbf{a}_1$ ভেকটরের দুই উপাংশ এবং a_{2x}, a_{2y} হল $\mathbf{a}_2$ ভেকটরের দুই উপাংশ

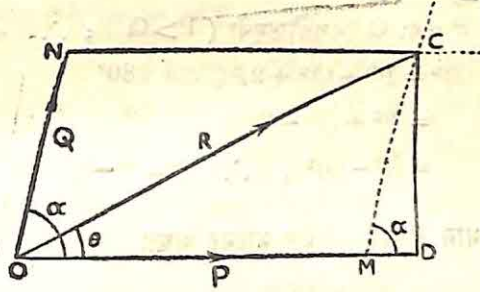
2.5 গাণিতিক বিবেচনায় এক বিন্দুতে প্রযুক্ত দুটি ভেকটরের (বলের) লব্ধি

ধর, $\vec{OM} = \vec{P}$, $\vec{ON} = \vec{Q}$ দুটি বল ; α দুই বলের অভিমুখের অন্তর্ভুক্ত কোণ, OMCN সামন্তরিক আঁক। তাহলে $\vec{OC}$ কর্ণ $\vec{P}$ এবং $\vec{Q}$ এর লব্ধি (R)। C বিন্দু থেকে OM এর বর্ধিত অংশের উপর CD লম্ব আঁক।

অতএব $OC^2 = OD^2 + CD^2 = (OM + MD)^2 + CD^2$

$$= OM^2 + MD^2 + 2\,OM.\,MD + MC^2 - MD^2$$

$$= OM^2 + MC^2 + 2\ OM.\ MC \cos \alpha$$
$$= OM^2 + ON^2 + 2\ OM.\ ON \cos \alpha$$

$$\therefore \quad R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \alpha \quad \text{.. (i)}$$

চিত্র 21

যদি লব্ধি $\vec{P}$ বলের সঙ্গে θ কোণ উৎপন্ন করে তাহলে,

$$\tan \theta = \frac{CD}{OD} = \frac{MC \sin \alpha}{OM + MD}$$
$$= \frac{Q \sin \alpha}{P + Q \cos \alpha}$$

$$\therefore \quad \theta = \tan^{-1} \frac{Q \sin \alpha}{P + Q \cos \alpha} \quad \text{...(ii)}$$

(i) এবং (ii) সমীকরণের সাহায্যে লব্ধির মান ও দিক নির্দিষ্ট হয়।

অনুসিদ্ধান্ত 1. ধর $\vec{P}$ ও $\vec{Q}$ পরস্পর সমকোণে $\therefore \alpha = 90^\circ$

$$\therefore \quad R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos 90^\circ$$
$$= P^2 + Q^2 \ ; \quad \therefore R = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

এবং $\tan \theta = \dfrac{Q \sin 90^\circ}{P + Q \cos 90^\circ} = \dfrac{Q}{P}$

$$\therefore \quad \theta = \tan^{-1} \frac{Q}{P}$$

2. ধর $\vec{P}$ এর $\vec{Q}$ একই অভিমুখে $\therefore \quad \alpha = 0^\circ$

$$\therefore \quad R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos 0^\circ$$
$$= P^2 + Q^2 + 2PQ$$
$$= (P + Q)^2 \ ; \quad \therefore \quad R = P + Q$$

$$\text{এবং } \tan\theta = \frac{Q \sin 0^\circ}{P + Q \cos 0^\circ} = 0 \quad \therefore \quad \theta = 0^\circ$$

অতএব লব্ধির মান P এবং Q এর মানের সমষ্টি এবং P ও Q এর সমমুখী।

3. ধর $\vec{P}$ এবং $\vec{Q}$ বিপরীতমুখী (P>Q) ; $\therefore \quad \alpha = 180^\circ$

$$\therefore \quad R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos 180^\circ$$
$$= P^2 + Q^2 - 2PQ$$
$$= (P - Q)^2 \; ; \quad \therefore \quad R = P - Q$$

অর্থাৎ লব্ধির মান P এবং Q এর মানের অন্তর

$$\tan\theta = \frac{Q \sin 180^\circ}{P + Q \cos 180^\circ} = 0 \; ; \quad \therefore \quad Q = 0$$

অর্থাৎ লব্ধি P ও Q এর সমসূত্রে (in the same line) এবং বৃহত্তর বলের অভিমুখী।

2. 6 আপেক্ষিক বেগ ও ত্বরণ

(Relative velocity & relative acceleration)

আপেক্ষিক বেগ : পৃথিবীপৃষ্ঠে বা পৃথিবীর কাছাকাছি অঞ্চলে বস্তুর গতি ভূ-পৃষ্ঠের সাপেক্ষে কোন স্থির বস্তুর পরিপ্রেক্ষিতে বর্ণিত হয়। কিন্তু ক্ষেত্র-বিশেষে কোন একটি চলমান বস্তুর সাপেক্ষে আর একটি চলমান বস্তুর গতি জানাও প্রয়োজন হয়। কোন চলমান বস্তুর সাপেক্ষে অন্য বস্তুর গতিকে **আপেক্ষিক গতি** বলা হয়। এরকম ক্ষেত্রে যদি বস্তু দুটির পারস্পরিক দূরত্ব সময়ের সঙ্গে পরিবর্তিত হয়, তবে প্রত্যেকটি অন্যের সাপেক্ষে আপেক্ষিক গতিসম্পন্ন বলা হয়।

যখন দুটি বস্তু সমান বেগে একই দিকে চলে তখন তাদের আপেক্ষিক বেগ স্পষ্টত শূন্য।

বিষয়টি ভেকটর-এর সাহায্যেও প্রকাশ করা যায়। ধর, $\mathbf{v}_a$ = A বস্তুর বেগ (পৃথিবীর সাপেক্ষ), $\mathbf{v}_b$ = B বস্তুর বেগ (পৃথিবীর সাপেক্ষে)। তা হলে, B-র সাপেক্ষে A-র আপেক্ষিক বেগ হল

$$\mathbf{v}_{ab} = \mathbf{v}_a - \mathbf{v}_b$$

এবং A র সাপেক্ষে B-র আপেক্ষিক বেগ হল

$$\mathbf{v}_{ba}=\mathbf{v}_b-\mathbf{v}_a$$

কাজেই দুই **চলমান বস্তুর একটির সাপেক্ষে অন্যটির আপেক্ষিক বেগ হল ঐ দুই বস্তুর বেগের ভেকটরীয় বিয়োগফল** ; অর্থাৎ

কোন বস্তু B-র সাপেক্ষে আর একটি বস্তু A-র আপেক্ষিক বেগ নির্ণয় করতে হলে B-র উপর তার নিজস্ব বেগ বিপরীতভাবে আরোপ করে B-কে স্থিরাবস্থায় আন। B-র উপর আরোপিত এই বিপরীত বেগ A-র উপরও আরোপ করে A-র নিজস্ব বেগ এবং আরোপিত বেগের লব্ধি নির্ণয় কর। এই লব্ধি B-র সাপেক্ষে A-র আপেক্ষিক বেগ। কষে দেওয়া উদাহরণগুলো ভাল করে লক্ষ্য কর ; তাহলে বিষয়টি স্পষ্ট হবে।

আপেক্ষিক ত্বরণ : বেগের মত ত্বরণও একটি ভেকটর রাশি। স্থিরাবস্থা থেকে যদি দুটি বস্তু সমপরিমাণ ত্বরণের অধীনে একই দিকে চলতে থাকে তাহলে তাদের কোন আপেক্ষিক ত্বরণ থাকবে না। কিন্তু বস্তু দুটি যদি দুই ভিন্ন দিকে ত্বরণযুক্ত হয় তবে একের সাপেক্ষে অন্যের ত্বরণ বা আপেক্ষিক ত্বরণের প্রশ্ন আছে। যে প্রক্রিয়ায় দুই গতিশীল বস্তুর আপেক্ষিক বেগ নির্ণয় করা হয় সেই প্রক্রিয়ায় আপেক্ষিক ত্বরণও নির্ণয় করা যায়।

2. 7 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. **1.** ঘণ্টায় 6 মাইল বেগে প্রবহমান স্রোতের আড়াআড়ি ঘণ্টায় 4 মাইল বেগে নৌকা চালালে তীরের সাপেক্ষে নৌকার বেগ কত ?

এখানে নৌকার বেগ $u=4$ মাইল/ঘণ্টা

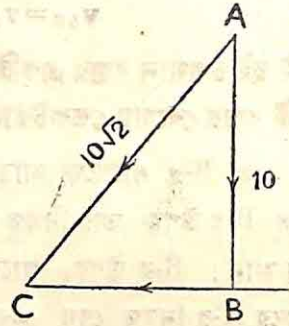
স্রোতের বেগ $v=6$ মাইল/ঘণ্টা

$\therefore$ লব্ধি বেগ $\mathrm{V}=\sqrt{u^2+v^2}=\sqrt{4^2+6^2}=\sqrt{52}$ **মাইল/ঘণ্টা**

উদা. 2. একটি জাহাজ ঘণ্টায় 10 মাইল সমবেগে সোজা উত্তর দিকে যাচ্ছে। জাহাজ থেকে মনে হয় যে, বাতাস উত্তর-পূর্ব দিক থেকে ঘণ্টায় $10\sqrt{2}$ মাইল বেগে প্রবাহিত হচ্ছে। বাতাসের বেগের প্রকৃত দিক ও মান নির্ণয় কর।

বাতাসের আপেক্ষিক বেগ $=10\sqrt{2}$; অতএব $10\sqrt{2}$ হচ্ছে বাতাসের প্রকৃত বেগ এবং জাহাজের বেগের সমান কিন্তু বিপরীতমুখী বেগের লব্ধি।

চিত্রে AC বাতাসের লব্ধি বেগ, AB জাহাজের বেগের বিপরীত বেগ।

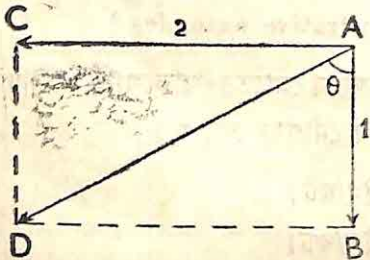
$\therefore$ BC বাতাসের প্রকৃত বেগ ও দিক।

চিত্র 22

$$BC=\sqrt{AC^2-AB^2}$$
$$=\sqrt{(10\sqrt{2})^2-10^2}=10$$

$\therefore$ বাতাসের প্রকৃত বেগ **10 মাইল/ঘণ্টা** এবং প্রকৃত দিক সোজা পশ্চিম।

উদা. 3. ঘণ্টায় 1 মাইল বেগে উল্লম্বভাবে বৃষ্টি পড়ছে এবং একজন লোক ঠিক পূর্বদিকে ঘণ্টায় 2 মাইল বেগে হেঁটে যাচ্ছে। উল্লম্বরেখার সঙ্গে কত কোণে ছাতা ধরলে বৃষ্টির কোঁটা ছাতার মাথায় লম্বভাবে পড়বে ?

বৃষ্টির কোঁটা এবং পথচারী উভয়ের উপর পশ্চিমদিকে ঘণ্টায় 2 মাইল বেগ আরোপ কর ; তাহলে পথচারী স্থির হয়ে যাবে এবং বৃষ্টির কোঁটা দুই বেগের লব্ধি বরাবর অগ্রসর হবে।

চিত্রে AB বৃষ্টির উল্লম্ব বেগ 2 মাইল/ঘণ্টা নির্দেশ করে এবং AC পথচারীর বিপরীত বেগ 2 মাইল/ঘণ্টা নির্দেশ করে।

চিত্র 23

সুতরাং লব্ধি বেগ = কর্ণ $AD=\sqrt{1^2+2^2}=\sqrt{5}$ মাইল/ঘণ্টা ;
নির্ণেয় কোণ $=\theta=\tan^{-1}\frac{2}{1}=\mathbf{\tan^{-1}2}$

উদা. 4. ঘণ্টায় 20 মাইল বেগে গতিশীল জাহাজের একজন নাবিক 20 সেকেণ্ডে 100 ফুট উঁচু একটি মাস্তুল বেয়ে ওঠে। সমুদ্রপৃষ্ঠের সাপেক্ষে নাবিকের বেগ নির্ণয় কর।

এখানে জাহাজের বেগ $u = 20$ মাইল/ঘণ্টা $= \frac{88}{3}$ ফুট/সেকেণ্ড

জাহাজের সাপেক্ষে নাবিকের বেগ $v = 100/20 = 5$ ফুট/সেকেণ্ড

$\therefore$ নির্ণেয় আপেক্ষিক বেগ $= \sqrt{u^2 + v^2} = \sqrt{(\frac{88}{3})^2 + 5^2}$

$= \mathbf{29{\cdot}73}$ **ফুট/সেকেণ্ড**

অনুশীলনী

1. ভেক্টর ও স্কেলার রাশি বলতে কি বোঝায় ?

2. নিম্নলিখিত রাশিগুলির কোন্‌টি স্কেলার, কোন্‌টি ভেক্টর ?
(i) ওজন, (ii) উষ্ণতা, (iii) ত্বরণ, (iv) বেগ, (v) দ্রুতি।

3. ছুটি ভেকটর **a** ও **b**-কে কিভাবে যোগ করা হয় ছবি এঁকে বোঝাও।

4. ভেকটরে বহুভুজ পদ্ধতি ও ভেকটরের বিয়োগফল বলতে কি বোঝ ?

5. ভেকটরের বিভাজন কিভাবে করা যায় ? সমকৌণিক উপাংশ কি ?

6. কিভাবে কো-অর্ডিনেটের সাহায্যে ভেকটর প্রকাশ করা যায় ? এ ক্ষেত্রে স্থানাঙ্কের সঙ্গে ভেকটরের মান সংক্রান্ত সম্পর্কগুলো কি কি ?

7. ঘণ্টায় 30 মাইল বেগকে ছুই সমকৌণিক উপাংশে বিভাজন কর। মূল বেগের সঙ্গে একটি উপাংশ (i) 30°, (ii) 45° ও (iii) 60° কোণ উৎপন্ন করে।

8. স্থির বায়ুতে একটি পাখি 20 মাইল/ঘণ্টা বেগে উড়তে পারে। কিন্তু ঠিক উত্তরদিক থেকে 10 মাইল/ঘণ্টা বেগে বাতাস প্রবাহিত হলে, পুব থেকে পশ্চিমে উড়ে যেতে পাখিটিকে কোন্ দিক লক্ষ্য করে উড়তে হবে ? ভূ-পৃষ্ঠের সাপেক্ষে তার বেগ কত হবে ? [30° উত্তর-পশ্চিমে, $10\sqrt{3}$ মাইল/ঘণ্টা]

9. ঠিক ছুপুরবেলা একটি জাহাজ A আর একটি জাহাজ B-র 20 মাইল উত্তরে ছিল। A ঘণ্টায় 12 মাইল বেগে দক্ষিণ দিকে চলছিল, B চলছিল 9 মাইল/ঘণ্টা বেগে ঠিক পুবদিকে। কখন জাহাজ ছুটি সবচেয়ে কাছাকাছি ছিল এবং তখন দূরত্ব কত ছিল? [1-04 p. m. ; 12 মাইল]

10. 60 মাইল/ঘণ্টা বেগে গতিশীল ট্রেনের জানালা থেকে একটি পাথর ছেড়ে দেওয়া হল। মাটি থেকে জানালার উচ্চতা 8 ফুট হলে, পাথরটি কত দূরে মাটি স্পর্শ করবে ? [$44\sqrt{2}$ ফুট]

11. বৃষ্টির ফোঁটা উল্লম্বভাবে সেকেণ্ডে 4 ফুট বেগে পড়ছে। সমতল রাস্তায় ধাবমান কোন সাইকেল আরোহীর কাছে মনে হল যে, বৃষ্টির ফোঁটা উল্লম্ব রেখার সঙ্গে 30° কোণে পড়ছে। সাইকেলারোহীর বেগ নির্ণয় কর।

3 তৃতীয় অধ্যায়

নিউটনের গতিসূত্র (Newton's laws of motion)

3. 1 বলের ধারণা (Idea of force)

কোন পদার্থই নিজ থেকে স্থানচ্যুত হয় না। স্থির পদার্থকে সরাতে গেলে তাকে ঠেলতে বা টানতে হয়। বিজ্ঞানের ভাষায় বলা হয়, **বল** প্রয়োগ করতে হয়। একটা গাড়ি দাঁড়িয়ে আছে, চালাতে গেলেই **বল** প্রয়োগ করতে হবে।

স্থির বস্তুকে সচল করতেই শুধু নয়, সচল বস্তুকে নিশ্চল করতেও গতির বিপরীত দিকে বল প্রয়োগ করতে হয়। অল্প গতিশীল বস্তুকে বেশি মাত্রায় গতিশীল করতেও বল চাই। চলমান বস্তুর দিক পরিবর্তন করতেও বলের প্রয়োজন।

সংজ্ঞা—যা বস্তুর স্থিরতা বা গতিতে পরিবর্তন আনে বা আনার চেষ্টা করে অথবা সচল বস্তুর দিক পরিবর্তন করে তাকে **বল** (force) বলে।

কোন বল-কে একটি সরলরেখার সাহায্যে সম্পূর্ণভাবে প্রকাশিত করা যায়। বল একটি ভেকটর রাশি।

(i) যে বিন্দু থেকে সরলরেখাটি অঙ্কন করা হয় সেটি বলের **প্রয়োগ বিন্দু** (point of application)।

(ii) যে অভিমুখে সরলরেখাটি অঙ্কন করা হয় তা বলের **দিক** (direction) নির্দেশ করে।

(iii) সরল রেখাটির দৈর্ঘ্য বলের **মান** (magnitude) নির্দেশ করে।

3. 2 নিউটনের গতিসূত্র (Newton's laws of motion)

বল প্রয়োগে বস্তুর স্থিরতা বা গতি কিরূপ হবে, কতখানি বল কিরূপ গতি সঞ্চারিত করবে ইত্যাদি প্রশ্নের সমাধানের জন্য ভৌত বস্তুর গতি-নিরীক্ষার ভিত্তিতে নিউটন গতি সম্পর্কিত মূল-তথ্যগুলি তিনটি সূত্রাকারে উপস্থাপিত করেন। এগুলি **নিউটনের সূত্র** নামে পরিচিত। এই সূত্র তিনটি বলবিদ্যার ভিত্তিস্বরূপ।

প্রথম সূত্র (First law)—বাইরে থেকে কোন প্রযুক্ত বল বাধ্য না করলে স্থির বস্তু চিরকাল স্থির অবস্থায় থাকবে এবং সচল বস্তু চিরকাল সমবেগে সরলরেখায় চলতে থাকবে।

দ্বিতীয় সূত্র (Second law)—বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত বলের সমানুপাতী এবং বল যে দিকে ক্রিয়া করে ভরবেগের পরিবর্তনও সেই দিকে ঘটে।

তৃতীয় সূত্র (Third law)—প্রত্যেক ক্রিয়ার একটি সমান ও বিপরীতমুখী প্রতিক্রিয়া আছে।

3. 3 প্রথম সূত্রের ব্যাখ্যা (Explanation of first law)

নিউটনের প্রথম সূত্র আমাদের বল-এর সংজ্ঞা দেয়। উপরে বলের যে সংজ্ঞা দেওয়া হয়েছে তা-ও প্রথম সূত্র থেকে পাওয়া। **বল হল যা প্রয়োগ করলে নিশ্চল বস্তু সচল হয় বা সরলরেখায় সমবেগে গতিশীল বস্তু তার বেগের মান বা চলার দিক পরিবর্তন করে।**

এই সূত্রে গতির প্রকৃতি ছাড়া পদার্থের একটা বিশেষ গুণ সম্বন্ধে বলা হচ্ছে—জড়প্রবণতা। যে পদার্থ স্থির আছে তা আপনা থেকে চলতে পারে না, বা যেটা চলছে তা আপনা থেকে থামতেও পারে না। তাকে চালানো বা থামানোর জন্য বাইরে থেকে প্রযুক্ত কোন বল-এর প্রয়োজন। পদার্থের এই স্বভাবধর্মকে বলা হয় **জাড্য** (Inertia)। এই জাড্য দু'রকম—(i) **স্থিতি জাড্য** (Inertia of rest)ঃ নিশ্চল পদার্থ চিরদিন নিশ্চল থাকবে। (ii) **গতি জাড্য** (inertia of motion)ঃ গতিশীল বস্তু চিরকাল সমগতিতে সরলরেখা বরাবর চলতে থাকবে।

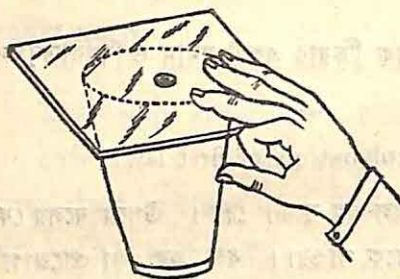
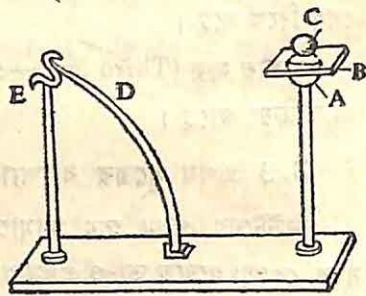
জাড্যের দৃষ্টান্ত (Examples of inertia)—ঘোড়া গতি বাড়ালে অশ্বারূঢ় ব্যক্তি পিছনে হেলে যায়। এটা হয় জাড্যের জন্য। ঘোড়ার গতি বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে ঘোড়ার পিঠে সংলগ্ন লোকটির দেহের অংশ এগিয়ে যায়, কিন্তু ওপরের অংশ জাড্যবশত পিছিয়ে থাকে ; ফলে লোকটি পিছনে হেলে যায়।

ট্রেনে চড়ার সময়ও এই জিনিস লক্ষ্য করে থাকবে। স্টেশনে থামার পর যখন ট্রেন ছাড়ে তখন আমরা পেছনে হেলে পড়ি ; কিন্তু চলন্ত গাড়ি হঠাৎ ব্রেক কষে থেমে গেলে আমরা সামনের দিকে হুমড়ি খেয়ে পড়ি। কেননা, গাড়ি থামলেও গতি-জাড্যের জন্য দেহের উপরের অংশে চলার প্রবণতা থেকে যায়।

ছোট একটি পরীক্ষার সাহায্যে স্থিতি জাড্য প্রমাণ করা যায়। এক টুকরো কার্ডবোর্ড একটা গ্লাসের ওপর রাখ। বোর্ডের ওপরে একটি আধুলি বা ঐ জাতীয় মুদ্রা রাখ। হঠাৎ স্প্রিং বা অন্য কিছুর সাহায্যে বোর্ডটিকে সজোরে এমন আঘাত কর যেন সে ছিটকে দূরে সরে যায়। দেখ, বোর্ডের উপরের মুদ্রাটি কিন্তু ছিটকে দূরে সরে গেল না, গ্লাসের

চিত্র 24

E D C B A

চিত্র 25

ভিতরে পড়ল। স্থিতি জাড্যের জন্য মুদ্রাটি স্বস্থানে থাকতে চায়, তাই বোর্ড সরে যাওয়ায় ওটি গ্লাসের মধ্যে পড়ে।

চিত্র 25 এ ঐ জাতীয় পরীক্ষা একটু ভিন্নভাবে করার ব্যবস্থা দেখানো হয়েছে ; চিত্রটি স্বপ্রকাশ। C = গোলক, B = বোর্ড, A = আধার, D = স্প্রিং।

গতিশীল বস্তু চিরকাল সমগতিতে চলতে থাকবে—গতির এই জড়-প্রবণতা অবশ্য প্রত্যক্ষ করা সম্ভব হয় না। এর কারণ অন্যান্য স্বাভাবিক বল—অভিকর্ষ, ঘর্ষণ ইত্যাদি—পদার্থের গতিতে বাধা দেয়। যেমন একটি ফুটবলকে যখন গড়িয়ে বা উর্ধ্বে সট করা হয় তখন গতিজাড্যের নিয়মানুসারে বলটির চিরকাল গড়িয়ে যাওয়া বা ক্রমাগত উর্ধ্ব থেকে উর্ধ্বে চলার কথা। কিন্তু তা হয় না। তবে কি নিউটনের প্রথম গতিসূত্র সত্য নয়? না। প্রথম ক্ষেত্রে মাঠের ঘর্ষণ ফুটবলটির বেগের বিরুদ্ধে ক্রিয়া করে। ফলে বেগ ক্রমে মন্দীভূত হয়ে ফুটবলটি একেবারে থেমে যায়। দ্বিতীয় ক্ষেত্রেও ফুটবলটির বেগকে মন্দীভূত করে দেয় ফুটবলের গতির বিপরীতমুখী অভিকর্ষ বল। ফলে এক্ষেত্রেও ফুটবলটির পক্ষে প্রথম স্ত্রানুযায়ী উর্ধ্ব থেকে উর্ধ্বে যাওয়া সম্ভব হয় না।

কিন্তু এই সমস্ত বিরুদ্ধ বল যদি কমান যেত তবে ফুটবলটি অনেক দূর গড়িয়ে যেত বা বেশি উর্ধ্বে উঠত। তাই অমসৃণ ঘরের মেঝেতে গড়ানো

মার্বেল যত দূর যায়, মসৃণ মেঝেতে তার চেয়ে অনেক বেশি যায়। বরফের উপর গড়িয়ে দিলে আরও বেশি যেত।

যে বস্তুর ভর বেশি তার জাড্যও বেশি। বস্তুর ভরই তার জাড্যের পরিমাণ নির্ণয় করে। তাই নিশ্চল ভারি বস্তুকে সচল করতে যত কষ্ট, নিশ্চল হাল্কা বস্তুর ক্ষেত্রে ততটা নয়। তেমনি সচল ভারি বস্তুকে নিশ্চল করতে যত বেশি বিপরীত বল প্রয়োগ করতে হয়, হাল্কা বস্তুর ক্ষেত্রে তত নয়।

একটি ক্রিকেট-বলকে যে বল প্রয়োগে যত দূর নিক্ষেপ করা যায়, সেই আকারের একটি লোহার-বলকে তত দূর নিক্ষেপ করতে অনেক বেশি বল প্রয়োগ করার প্রয়োজন হয়। সম-আকৃতির ক্রিকেট-বলের চেয়ে লোহার বলের ভর বেশি, তাই এরূপ হয়।

3. 4 দ্বিতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা (Explanation of second law)

এই সূত্রটি বিশ্লেষণ করলে দেখা যায় যে, এটি বল-কে কিভাবে পরিমাপ করতে হবে তা নির্দেশ করে।

সূত্রটিতে ব্যবহৃত রাশি **ভরবেগ** প্রথম অধ্যায়ে কথাটি আলোচনা করা হয়েছে। ভরবেগ হল কোন বস্তুর **ভর ও বেগের গুণফল**।

বলের পরিমাপ (Measure of force) : মনে কর u প্রাথমিক বেগে চলমান m ভরের একটি বস্তুর উপর t সময়ের জন্য একটি বল P প্রয়োগ করা হল। মনে কর, প্রযুক্ত বলের ফলে উক্ত সময়াবকাশে বস্তুটির চূড়ান্ত বেগ হল v ; তাহলে

$$\text{বস্তুটির প্রাথমিক ভরবেগ} = mu$$

$$\text{বস্তুটির চূড়ান্ত ভরবেগ} = mv$$

$$\therefore \; t \text{ সময়ে ভরবেগের পরিবর্তন} = mv - mu = m(v-u)$$

$$\therefore \; \text{ভরবেগের পরিবর্তনের হার} = \frac{m(v-u)}{t} = mf \qquad (f = \text{ত্বরণ})$$

নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে, প্রযুক্ত বল P ভরবেগের পরিবর্তনের হারের সমানুপাতিক, অর্থাৎ

$$P \propto mf$$

অথবা $$P = kmf \qquad (k = \text{ধ্রুবক})$$

ধ্রুবক k-র মান বলের এককের উপর নির্ভর করে। একক ভরের উপর প্রযুক্ত

হয়ে যে বল একক ত্বরণ সৃষ্টি করে তাকে যদি একক বল ধরা হয় তা হলে যখন $m=1, f=1$, তখন $P=1$;

$\therefore \quad 1=k.1.1 \qquad$ বা $k=1$

$\therefore$ উপরের একক বলের সংজ্ঞানুসারে, $P=mf$ ....(1)

বলের একক (Unit of force) সি. জি. এস. পদ্ধতিতে বলের একক **ডাইন**। অর্থাৎ যে বল 1 গ্রাম ভরের উপর প্রযুক্ত হয়ে 1 সেমি/সেকেণ্ড^2 ত্বরণ সৃষ্টি করে তাকে 1 ডাইন বলে।

এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে বলের একক **পাউণ্ডাল**। অর্থাৎ যে বল 1 পাউণ্ড ভরের উপর প্রযুক্ত হয়ে 1 ফুট/সেকেণ্ড^2 ত্বরণ সৃষ্টি করে তাকে 1 পাউণ্ডাল বলে।

সি. জি. এস পদ্ধতিতে বলের একটি বৃহত্তর একক আছে। তার নাম **নিউটন** (Newton)। যে বল এক কিলোগ্রাম ভরের উপর ক্রিয়া ক'রে 1 মিটার/সেকেণ্ড^2 ত্বরণ সৃষ্টি করে তাকে নিউটন বলে।

পাউণ্ডাল, ডাইন ও নিউটনের সম্পর্ক (Relation between poundal, dyne & Newton) :

1 **পাউণ্ডাল** = 1 পাউণ্ড × 1 ফু/সে^{2}

= 453·6 গ্রাম × 30·48 সেমি/সে^{2}

= **13825 ডাইন** (প্রায়)

$\therefore$ 1 **নিউটন** = 1 কেজি × 1 মি/সে^{2}

= 10^3 গ্রাম × 10^2 সেমি/সে^{2}

= **10^5 ডাইন**

পাউণ্ডাল ও ডাইন হল বলের **চরম একক** (absolute unit)।

এ ছাড়া, বলের **অভিকর্ষীয় একক**-ও (gravitational unit) আছে। একক ভর-কে পৃথিবী যে বলে আকর্ষণ করে তাকে বলের অভিকর্ষীয় একক বলে।

সি. জি. এস পদ্ধতিতে বলের অভিকর্ষীয় একক হল 1 **গ্রাম-ভার** (gram weight, এবং এফ. পি. এস পদ্ধতিতে অভিকর্ষীয় একক হল 1 **পাউণ্ড-ভার** (pound weight)।

1 **গ্রাম ভার** = 1 গ্রাম ভরের ওজন

= 1 গ্রাম × 981 সেমি/সে^{2}

= **981 ডাইন** (= g ডাইন)

1 পাউণ্ড ভার = 1 পাউণ্ড ভরের ওজন

= 1 পাউণ্ড × 32·2 ফু/সে^{2}

= **32·2 পাউণ্ডাল** (= g পাউণ্ডাল)

3. 5 তৃতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা (Explanation of third law)

তৃতীয় সূত্রের মূল কথা হল : বিশ্বে বল একা থাকে না, জুড়িবদ্ধ অবস্থায় থাকে। অর্থাৎ প্রতিটি বলের একটি সমান ও বিপরীত বল থাকে ; প্রথমটিকে **ক্রিয়া**, পরেরটিকে **প্রতিক্রিয়া** বলে। প্রথমে মনে হতে পারে যে, যেহেতু ক্রিয়ামাত্রেরই সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া আছে কাজেই উভয়ের যুগপৎ অস্তিত্বে দুয়েরই অনস্তিত্ব দেখা দেবে। কিন্তু ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া সমান এবং বিপরীত হলেও ওদের প্রয়োগবিন্দু দুই ভিন্ন বস্তুর উপর। ফলে ঐ অনস্তিত্বের ধারণা ভুল।

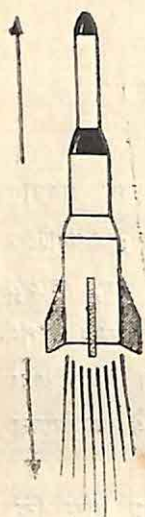
তা ছাড়া, বস্তু দুটি স্থির থাকুক কি সচল হোক, পরস্পর সংলগ্ন থাক কি ব্যবধানে থাক (যেমন দুটি চুম্বকের ক্ষেত্রে), এই সূত্রটি সার্বজনীন।

প্রথম ও দ্বিতীয় সূত্রে একটি বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল নিয়ে আলোচনা ; কিন্তু তৃতীয় সূত্রের বৈশিষ্ট্য হল, এতে দুটি বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের আলোচনা করা হয়েছে।

টেবিলের উপর বই রয়েছে। বইটি পৃথিবীর আকর্ষণে মাটিতে পড়ার কথা। পড়ছে না কেন ? পড়তে গিয়ে সে টেবিলের উপর একটি বল প্রয়োগ করছে (এই বল বইটির ওজন)। এটি **ক্রিয়া**। বইটা যখন পড়ছে না তখন বুঝতে হবে, টেবিলও বইকে উপরের দিকে সমান বলে ঠেলছে। এটি **প্রতিক্রিয়া**। ক্রিয়া যতক্ষণ প্রতিক্রিয়াও ততক্ষণ ; ক্রিয়া বন্ধ হলে প্রতিক্রিয়াও স্তব্ধ হয়ে যায়। এখানে ক্রিয়ার প্রয়োগবিন্দু টেবিলের উপর, প্রতিক্রিয়ার প্রয়োগবিন্দু বই-এর উপর।

সূর্য পৃথিবীকে টানছে—**ক্রিয়া** ; পৃথিবী সূর্যকে সমান বলে টানছে—**প্রতিক্রিয়া**। ক্রিয়ার প্রয়োগবিন্দু পৃথিবীর উপর, প্রতিক্রিয়ার প্রয়োগবিন্দু সূর্যের উপর।

মহাশূন্য অভিযানেও নিউটনের তৃতীয় সূত্রের ব্যবহারিক প্রয়োগ রয়েছে। যে বস্তু মহাকাশযানকে উর্ধ্বে নিয়ে যায় সে হল রকেট। রকেটের মূলতত্ত্ব নিউটনের তৃতীয় সূত্র। রকেটের পিছনের দিকে এক বা একাধিক ছোট

রন্ধ্রপথে সবেগে জ্বালানির দহনজাত গ্যাস বেরিয়ে আসে (ক্রিয়া) এবং রকেটটি প্রতিক্রিয়ায় সামনের দিকে প্রচণ্ডবেগে গতিশীল হয়। এটি জেট প্লেনেরও মূলসূত্র। এ সম্পর্কে পরে আরও বিশদ বলা হয়েছে।

যাঁদের বন্দুক ছোঁড়ার অভিজ্ঞতা আছে তাঁরা জানেন, বুলেট সামনের দিকে বেরিয়ে গেলে প্রতিক্রিয়ায় বিপরীত দিকে ঝাঁকুনি লাগে।

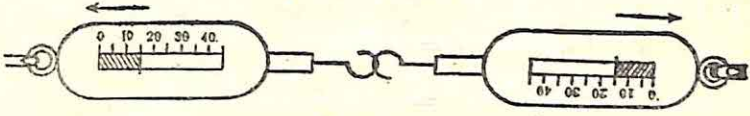
নৌকো থেকে তীরে ঝাঁপ দিলে নৌকো বিপরীত দিকে সরে যায়।

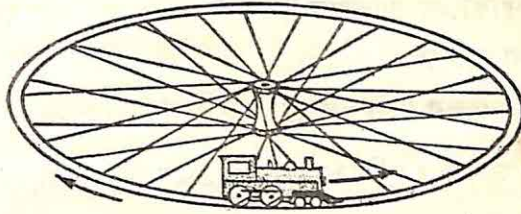
মানুষ যখন হাঁটে তখন সে পা দিয়ে ভূমিতলে চাপ দেয়। সামনের পা-এর পাতা মাটিতে পুরোপুরি চাপ দিয়ে দেহভার সংরক্ষণ করে ; আর পিছনের পা এমন আনতভাবে চাপ দেয় যে, ভূমির প্রতিক্রিয়ার অনুভূমিক উপাংশে মানুষ সম্মুখে চলতে পারে।

চিত্র 26

ঘোড়া যখন গাড়ি টানে, নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুসারে, গাড়িও ঘোড়ার উপর সম-পরিমাণ বল (ধর, T) প্রয়োগ করে। এই ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ায় গাড়ির সামনে ও ঘোড়ার পিছনে চলাই সংগত ছিল। কিন্তু উভয়েই সামনে চলে কি করে ? এ ক্ষেত্রে ঐ ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া ছাড়া আরও ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া আছে। ঘোড়া খুরের সাহায্যে ভূমিতলে আনতভাবে যে আঘাত করে তার ক্রিয়ায় ভূমিতল ঘোড়ার উপর বিপরীত দিকে প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে। এই প্রতিক্রিয়ার অনুভূমিক উপাংশ F গাড়িসহ ঘোড়াকে চলার সুযোগ দেয়। আবার, চলাকালে গাড়ির চাকা ভূমি স্পর্শ করে সম্মুখে চলে। ফলে চাকাতেও ভূমিতলের প্রতিক্রিয়া (F') বিপরীত দিকে উদ্ভূত হয়। প্রারম্ভিক চলাকালে $F>T>F'$ হতে হয়। পরে চলতে শুরু করলে $F=T=F'$ হয় এবং গাড়ি সমবেগে চলে।

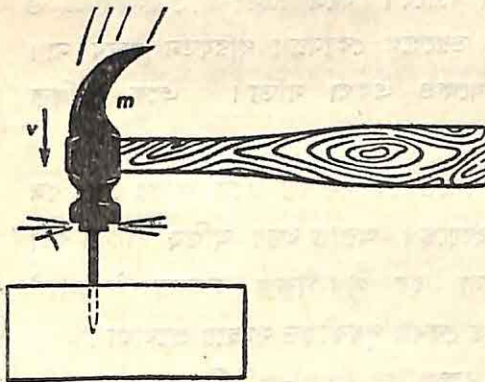
তৃতীয় সূত্রের সত্যতা নিচের **পরীক্ষায়** আরও সরাসরি প্রমাণ করা যায়। একটা স্প্রিং তুলা নাও এবং দেয়ালে লোহা পুঁতে তা থেকে তুলাটি ঝুলাও। আর একটি স্প্রিং-তুলাকে প্রথম তুলার আংটায় লাগিয়ে টান। দেখ, দুটো তুলায় একই পাঠ দেখাচ্ছে। দ্বিতীয় তুলা প্রথম স্প্রিং-তুলাটিকে তোমার দিকে টানছে (**ক্রিয়া**) এবং প্রথম তুলাও দ্বিতীয়টিকে বিপরীতদিকে সমান বলে

টানছে (**প্রতিক্রিয়া**)। ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার মান যে পরস্পর সমান ও বিপরীত তা তুলা দুটির পাঠ থেকে জানা যাচ্ছে।

চিত্র 27

তৃতীয় সূত্রের একটি সুন্দর **দৃষ্টান্তের** কথা নিচে বলা হল: একটি মসৃণ অনুভূমিক টেবিলের উপরে চিত্র 28-এ প্রদর্শিতমতো একটি বৃত্তাকার পথ

চিত্র 28

এমনভাবে স্থাপন কর যেন পথের কেন্দ্রগামী একটি উল্লম্ব অক্ষের চারধারে পথটি ঘুরতে পারে। চাবি-দেওয়া একটি খেলনা রেল-ইঞ্জিন পথটির উপর বসিয়ে চালু কর। ইঞ্জিনটি যখন সামনের দিকে চলতে থাকবে, দেখ, পথটি তখন বিপরীত দিকে সরছে।

3. 6 ঘাত বল ও বলের ঘাত (Impulsive force and Impulse)

ক্ষুদ্র সময়ের জন্য ক্রিয়াশীল বৃহৎ বলকে **ঘাত বল** বলা হয়। ফুটবলে লাথি মারা, হকি স্টিক দিয়ে বলকে আঘাত করা, হাতুড়ি দিয়ে পেরেক ঠোকা, ট্রেনের সংঘর্ষ ইত্যাদি ঘাত বলের বিভিন্ন উদাহরণ।

চিত্র 29

ঘাত বল পরিমাণে বৃহৎ এবং ক্ষুদ্র সময়ের জন্য বলে তার দ্বারা বস্তু যে ত্বরণ অর্জন করে তা সময়ানুক্রমিক ভাবে লক্ষ্য করা যায় না। কিন্তু সাধারণ বল তুলনামূলকভাবে দীর্ঘতর সময় ব্যাপে ক্রিয়াশীল থেকে

বস্তুর বেগ পরিবর্তিত করে। ফলে সেই পরিবর্তন সময়ানুক্রমিকভাবে লক্ষ্য করা সম্ভব। তাহলে ঘাত বল কি করে মাপা হবে ?

আমরা জানি $P = mf$

$$= \frac{m(v-u)}{t}$$

$$\therefore \quad \mathbf{Pt = mv - mu} = \textbf{ভরবেগের পরিবর্তন}$$

বৃহৎ কোন বল ক্ষুদ্র সময়ের জন্য কোন বস্তুর উপর ক্রিয়া করলে ঐ বলের মান ও তার ক্রিয়াকালের গুণফলকে (Pt) ঐ **বলের ঘাত** বলা হয়। উপরের হিসাব থেকে দেখা যায় যে,

বলের ঘাত = বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তন

কাজেই বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তন থেকে ঘাত বল নির্ণয় করা হয়।

3.7 রৈখিক ভরবেগের নিত্যতা সূত্র

(Conservation of linear momentum)

ধর, A বস্তুটি t-সময় ধরে B-বস্তুর উপর P বল প্রয়োগ করছে। তা হলে বলের ঘাত Pt হল B বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তন। B বস্তুটিও A-র উপর সমান ও বিপরীতমুখী বল প্রয়োগ করবে (নিউটনের তৃতীয় সূত্র)। অতএব প্রতিক্রিয়া বলটিও t-সময় ধরে ক্রিয়াশীল থেকে A-র ভরবেগে Pt-পরিমাণ পরিবর্তন আনবে। কাজেই ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া বল A ও B বস্তুর ভরবেগে সমান কিন্তু বিপরীতমুখী পরিবর্তন ঘটাবে। ফলে ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ায় A ও B বস্তুদ্বয়ের সমন্বয়ের (system) ভরবেগে কোনরূপ পরিবর্তন ঘটবে না। দুই-এর বেশি বস্তুর সমন্বয়ের পক্ষেও একথা সত্যি। একে **রৈখিক ভরবেগের নিত্যতা সূত্র** বলে।

উপরের আলোচনায় সমন্বয় বলতে যে সব বস্তু একে অন্যের উপর বল প্রয়োগ করছে শুধু তাদেরই ধরা হয়েছে। অন্যান্য বস্তুর অস্তিত্ব স্বীকার করা হয়নি। এ ধরণের সমন্বয়কে বলা হয় **পৃথকীকৃত সমন্বয়** (isolated system)। ভরবেগের নিত্যতা সূত্র কেবল পৃথকীকৃত সমন্বয়ে প্রযোজ্য।

সংজ্ঞা : পৃথকীকৃত সমন্বয়ে বস্তুগুলির ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ায় সমন্বয়ের মোট ভরবেগে কোনরূপ পরিবর্তন ঘটে না। এই হল **ভরবেগের নিত্যতা সূত্র**।

সমন্বয়ের ভরবেগে পরিবর্তন ঘটাতে বাইরে থেকে বল প্রয়োগ করতে হবে। এই কারণে কোনসাইকেল আরোহী কেবলমাত্র হ্যাণ্ডেল টেনে তার সাইকেলের বেগ কমাতে পারে না। এই টান বলের দরুন সাইকেলে ভরবেগে যে পরিবর্তন ঘটে তা আরোহীর উপর প্রতিক্রিয়ার ভরবেগের দ্বারা প্রশমিত হয়।

বায়ুতে যখন কোন বোমা বিস্ফোরণ ঘটে তখন তার বিস্ফোরণ-পূর্ব একটি ভরবেগ থাকে। বিস্ফোরণে বিভিন্ন টুকরো বিভিন্ন দিকে ছুটে যায়; তখন টুকরোগুলোর প্রত্যেকের পৃথক পৃথক ভরবেগ রয়েছে। ভরবেগের নিত্যতা সূত্রানুসারে, টুকরোগুলোর পৃথক পৃথক ভরবেগের ভেক্টরীয় যোগফল সমগ্র বোমাটির ভরবেগের সমান হবে।

বন্দুক থেকে গুলি ছোঁড়া : বন্দুক থেকে যখন গুলি ছোঁড়া হয়, গুলিটি তার গতির অভিমুখে ভরবেগ অর্জন করে। ছোঁড়ার আগে বন্দুক+গুলি-র সমন্বয় স্থিরাবস্থায় ছিল ; কাজেই ওদের মোট ভরবেগ ছিল শূন্য। যেহেতু গুলি ছোঁড়ার ফলে ভরবেগের কোন পরিবর্তন ঘটতে পারবে না সেহেতু গুলি সামনের দিকে বেরিয়ে গেলে বন্দুক গুলির বিপরীতমুখী ভরবেগ অর্জন করবে অর্থাৎ বন্দুক পিছন দিকে বেগ লাভ করবে। এজন্য গুলি ছোঁড়ার সময় বন্দুক পিছনে ধাক্কা দেয়। বন্দুকের এই বেগকে **প্রতিক্রিয়া বেগ** (velocity of recoil) বলে।

ধর M = বন্দুকের ভর, m = গুলির ভর, V = বন্দুকের বেগ, v = গুলির বেগ। অতএব ভরবেগের নিত্যতা সূত্রানুসারে,

$$(M+m)\times 0 = MV+mv$$

$$\therefore \quad MV+mv=0 \quad \therefore \quad V=-\frac{m}{M}v$$

(− চিহ্নে সূচিত হয় যে, বন্দুকের বেগ গুলির বেগের বিপরীত দিকে)

রকেট ও জেট : এ সম্পর্কে পরবর্তী অনুচ্ছেদে বিশদ আলোচনা করা হয়েছে।

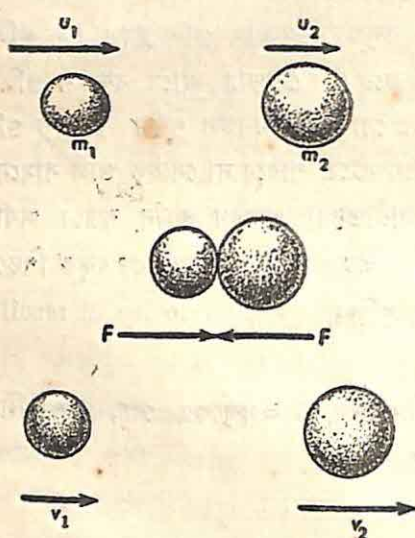
3.8 একই সরলরেখায় চলমান দুই বস্তুকণার স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ (Elastic collision of particles moving in same direction)

যে সমস্ত বস্তুকণা স্বধর্মের দরুণ সংঘর্ষজনিত বিকৃতি অতিক্রম করে পূর্বাবস্থায় ফিরে আসে তাদের **স্থিতিস্থাপক বস্তুকণা** (elastic particle) ও তাদের সংঘর্ষকে **স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ** (elastic collision) বলা হয়।

বিভিন্ন প্রকার চলমান গোলকের সংঘর্ষ অনুধাবন করে নিউটন তাদের সংঘর্ষ-পূর্ব ও সংঘর্ষ-উত্তর বেগের একটি সম্পর্ক নির্ধারণ করেন।

ধর, একই দিকে চলমান দুটি গোলকের সংঘর্ষ-পূর্ব বেগ u_1 ও u_2 এবং তাদের সংঘর্ষ-উত্তর বেগ v_1 ও v_2 ; নিউটনের সিদ্ধান্ত অনুসারে,

$$\frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2} = e = \text{ধ্রুবক}$$

e-র মান 0 থেকে 1 এর ভিতর। e যখন 1 হয় তখন সংঘর্ষকে **পূর্ণ স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ** (perfectly elastic collision) বলা হয়।

মনে কর, u_1 বেগে চলমান m_1 ভরযুক্ত একটি বস্তুকণার সঙ্গে একই দিকে u_2 বেগে চলমান m_2 ভরযুক্ত বস্তুকণার পূর্ণ স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ ঘটলো।

চিত্র 30

নিউটনের পরীক্ষালব্ধ সূত্রানুযায়ী

$$\frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2} = 1$$

অর্থাৎ $v_2 - v_1 = u_1 - u_2$ ...(1)

আবার, রৈখিক ভরবেগের নিত্যতা সূত্রানুসারে,

$$m_2v_2 + m_1v_1 = m_2u_2 + m_1u_1 \qquad \text{....(2)}$$

(1) কে m_1 দ্বারা গুণ করে (2) এর সঙ্গে যোগ করে

$$(m_1 + m_2)\, v_2 = (m_2 - m_1)\, u_2 + 2\, m_1u_1 \qquad \text{....(3)}$$

আবার (1) -কে m_2 দ্বারা গুণ করে (2) থেকে বিয়োগ করলে

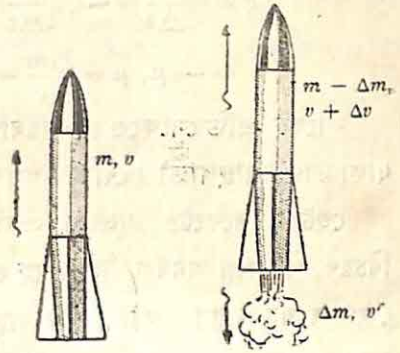
$$(m_1 + m_2)\, v_1 = (m_1 - m_2)\, u_1 + 2m_2u_2 \qquad \text{....(4)}$$

যদি $m_1 = m_2$ হয় তবে (3) ও (4) থেকে,

$$v_2 = u_1 \;;\; v_1 = u_2$$

অতএব **একই দিকে গতিশীল সমভর দুটি বস্তুকণা স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষে পরস্পর বেগ অদল-বদল করে।**

3. 9 জেট ও রকেট (Jets and Rockets)

ভরবেগের নিত্যতা সূত্র থেকে জেট ও রকেটের গতিকে সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়। **জেট পরিচলন** (jet propulsion) হল **প্রতিক্রিয়ায় পরিচলন** (propulsion by reaction)। রকেটের পেছনের দিকে ছোট ছোট রন্ধ্রপথে জালানির দহনজাত গ্যাসগুলো তীব্রবেগে রকেট-দেহ থেকে বাইরে নিক্ষিপ্ত হয় (ক্রিয়া) এবং রকেটটি প্রতিক্রিয়ায় বিপরীত দিকে এমনভাবে এগিয়ে যায় যে, রকেট ও গ্যাসের মোট ভরবেগ একই থাকে। ভূ-পৃষ্ঠ থেকে খাঁড়াভাবে উঠছে এমন একটি রকেটের কথা আলোচনা করা যাক।

চিত্র 31

ধর, t_0-সময়ে :

রকেটের (জ্বালানি ও দহন সহায়কসহ) ভর $= m$

এবং পৃথিবীর সাপেক্ষে রকেটের বেগ $= v$

t_1-সময়ে (তখন কিছুটা জ্বালানি পুড়েছে) :

রকেটের ভর $= m_1$; নিষ্ক্রান্ত গ্যাসের ভর $= m_g$

পৃথিবীর সাপেক্ষে রকেটের বেগ $= v_1$ এবং

রকেটের সাপেক্ষে গ্যাসের নিষ্ক্রমণ বেগ $= -u$ (রকেটের বিপরীত)

কাজেই, পৃথিবীর সাপেক্ষ গ্যাসের বেগ $v_g = v_1 - u$

এক্ষণে, t_0-সময়ে রকেটের ভরবেগ $= mv$

t_1-সময়ে রকেট ও গ্যাসের মোট ভরবেগ $= m_1v_1 + m_gv_g$

∴ ভরবেগের নিত্যতা সূত্রানুসারে,

$$m_1v_1 + m_gv_g = mv$$

বা, $m_1v_1 + (m - m_1)(v_1 - u) = mv$

বা, $m(v_1 - v) = u(m - m_1)$ ....(*i*)

কিন্তু $v_1 - v =$ রকেটের বেগবৃদ্ধি $= \triangle v$, $m - m_1 = (t_1 - t_0)$ সেকেণ্ডে দগ্ধ জ্বালানির ভর $= \triangle m$, $t_1 - t_0 =$ সময়ের ব্যবধান $= \triangle t$,

∴ (*i*) থেকে $m . \triangle v = u . \triangle m$ ....(*ii*)

নিষ্ক্রমণকালে গ্যাসগুলো রকেটের উপর কিছু বল প্রয়োগ করে। একে বলে **প্রতিক্রিয়ার ধাক্কা** (reactive thrust) বা **জেট** (jet)। এই বলের পরিমাণ

$$F = m\frac{\Delta v}{\Delta t} = -u\,\frac{\Delta m}{\Delta t}, \quad [\ (ii)\ \text{নং সমীকরণ থেকে}\ ]$$

$$= -u\mu,\ \mu = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \text{প্রতি সেকেণ্ডে ব্যয়িত জ্বালানি ।}$$

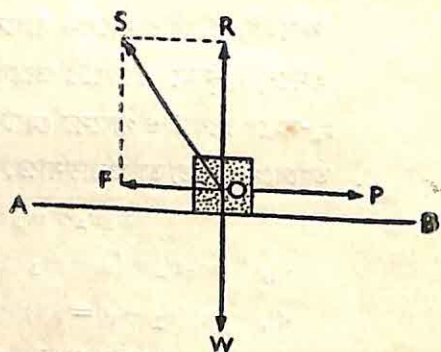
কাজেই প্রতি সেকেণ্ডে যে পরিমাণ জ্বালানি খরচ হয় জেট বা প্রতিক্রিয়ার ধাক্কা তার সমানুপাতী। যেদিকে গ্যাস নিষ্ক্রান্ত হয় এই বল তার বিপরীতমুখী।

জেট ও রকেটের মূলতত্ত্ব একই। পার্থক্য এই যে, জেট বায়ুমণ্ডলে বিচরণ করে বলে অনর্থক নিজ দেহে দহন সহায়ক অক্সিজেন বহন করে না, বায়ু থেকে সংগ্রহ করে। আর রকেট বায়ুশূন্য স্থানেও বিচরণ করে। এজন্য নিজ দেহে জ্বালানির সঙ্গে দহন সহায়ক অক্সিজেনও বহন করে।

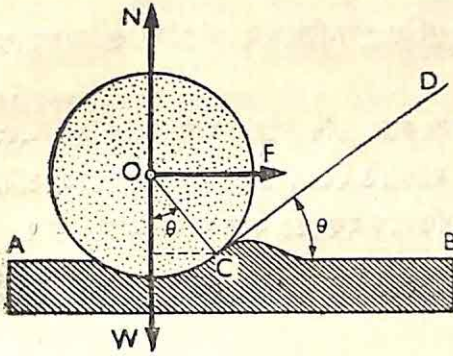
3.9 ঘর্ষণ (Friction)

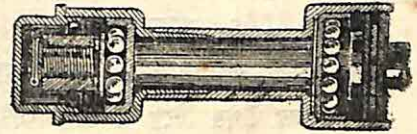
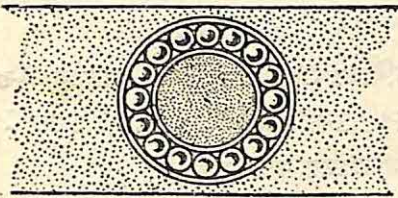
মাঠের উপর দিয়ে গড়িয়ে দিলে একটি বল যত দূর যায় মসৃণ সিমেণ্টের মেঝেতে গড়িয়ে দিলে তার চেয়ে অনেক বেশি দূর যায়। এর কারণ কি ? কারণ **ঘর্ষণ**। সংশ্লিষ্ট বস্তু দুটি মসৃণ হলে ঘর্ষণ কম হয়, অমসৃণ হলে ঘর্ষণ বেশি হয়। পরস্পরকে স্পর্শ করে থাকা দুটি বস্তুর স্পর্শতল বস্তু দুটির আপেক্ষিক গতির বিপক্ষে যে বাধা দেয় তা-ই ঘর্ষণ।

ঘর্ষণ বল দু' প্রকার হতে পারে—**বিসর্প ঘর্ষণ** Sliding friction) এবং **আবর্ত ঘর্ষণ** (Rolling friction)।

কোন বস্তু বিনা আবর্তনে সমতল ক্ষেত্রের উপর দিয়ে চলার সময় যে ঘর্ষণের সৃষ্টি হয় তা **বিসর্প ঘর্ষণ**। সংশ্লিষ্ট তল দুটি খুব পালিশ হলেও অণুবীক্ষণে দেখলে ওদের বন্ধুরতা স্পষ্ট দেখা যায়। এক তলের উঁচু অংশ অন্য তলের নিচু অংশে প্রবেশ করে গতিকে বাধা দিয়ে বিসর্প ঘর্ষণ সৃষ্টি করে। O বস্তুটিকে যখন P বেগে টানা হয় তখন ঘর্ষণ বল F তার বিরোধিতা করে। যতক্ষণ $P < F$ ততক্ষণ বস্তুটি নিশ্চল থাকে। চালু হওয়ার পর P যদি ঠিক F এর

চিত্র 32

সমান হয় তবে বস্তুটি সমবেগে চলে। কিন্তু $P > F$ হলে বস্তু ত্বরণযুক্ত গতি পায়।

আর বস্তুটি যদি সমতলের উপর দিয়ে আবর্তন করে চলে তখন যে ঘর্ষণ উৎপন্ন হয় তাকে বলা হয় **আবর্ত ঘর্ষণ**। বস্তুর আবর্তনকালে স্পর্শাঞ্চলে (C) তলটি কিছুটা চাপ খেয়ে সামনে উঁচু (ridge) হয়ে ওঠে। আবর্তনরত বস্তুটিকে ক্রমাগত ঐ উঁচু অংশে আরোহণ করতে হয়। ব্রেক কষে সাইকেল ঠেলে নিয়ে যাওয়ার সময় সাইকেলের গতিতে বিসর্প ঘর্ষণের সৃষ্টি হয়। কিন্তু ব্রেক ছেড়ে দিয়ে ঠেললে সাইকেলের চাকা ঘুরবে এবং আবর্ত ঘর্ষণ হবে।

চিত্র 33

আবর্ত ঘর্ষণের মান আবর্তকের ব্যাসের ব্যস্তানুপাতী। তল যত দৃঢ় হয়, এর মানও তত কমে। সাধারণত **আবর্ত ঘর্ষণ বল বিসর্প ঘর্ষণের তুলনায় অনেক কম**। এজন্য বল-বেয়ারিং ব্যবহার করে যন্ত্রপাতিতে বিসর্প ঘর্ষণের পরিবর্তে আবর্ত ঘর্ষণের ব্যবস্থা করা হয়। 34 নং চিত্রে সাইকেলের প্যাডেলের বল-বেয়ারিং দেখানো হল।

চিত্র 34

ঘর্ষণের সূত্রাবলী (Laws of Friction)

1. বস্তুকে যেদিকে টানা হয় ঘর্ষণ তার বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে।

2. সংলগ্ন তলে লম্বভাবে ক্রিয়াশীল বলের মানের উপর ঘর্ষণ বল নির্ভরশীল।

একটি খালি বাক্সকে মেঝের উপর দিয়ে টেনে নিতে যত বল লাগে,

বাক্সটি ভারী জিনিষে ভর্তি থাকলে তার চেয়ে বেশি বল লাগে। খালি বাক্সের ওজন অর্থাৎ লম্বভাবে ক্রিয়াশীল বলের মান কম; ফলে ঘর্ষণজনিত বাধার মানও কম। কিন্তু দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, বাক্সের ওজন বেশি বলে ঘর্ষণ জনিত বলের মানও বেশি।

3. ঘর্ষণ বল সংলগ্ন বস্তু দুটির স্পর্শতলের প্রকৃতি ও অবস্থার উপর নির্ভর করে।

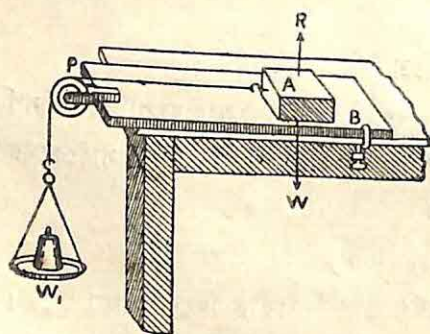
সংলগ্ন বস্তুদ্বয়ের স্পর্শতল অমসৃণ হলে ঘর্ষণ বলের মান বেশি হয় এবং মসৃণ হলে ঘর্ষণ বল কম হয়। যন্ত্রপাতি ইত্যাদির চলমান অংশে তেল, চর্বি, ভেসলিন ইত্যাদি ব্যবহার করে স্পর্শতলকে মসৃণতর করে ঘর্ষণ কমানো হয়।

4. ঘর্ষণ বল সংলগ্ন বস্তুদ্বয়ের স্পর্শতলের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে না।

একটি আয়তাকার সিন্দুককে খাড়া অথবা চিৎ যে অবস্থায়ই টানা হোক না কেন উভয় ক্ষেত্রেই ঘর্ষণ বল প্রায় সমান হয় এটি অমসৃণীকৃত (unlubricated) তলের পক্ষে সত্যি। কিন্তু মসৃণীকৃত তলের ক্ষেত্রে ঘর্ষণ বল স্পর্শ তলের ক্ষেত্রফলের সঙ্গে প্রায় সমানুপাতী।

3. 10 বিসর্প ঘর্ষণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of friction)

চিত্র 35-এ দেখানো হয়েছে যে, টেবিলের উপর রাখা একটি কাচতল B-র উপর একটি কাঠের ব্লক A রাখা আছে। ব্লকটির সঙ্গে বাঁধা একটি সুতো P কপিকলের উপর দিয়ে গিয়ে একটি তুলাপাত্রের সঙ্গে সংলগ্ন।

চিত্র 35

ব্লকের ওজন W টেবিলের উপর লম্বভাবে নীচের দিকে ক্রিয়া করে। ফলে টেবিল ও ব্লকের উপর সমান কিন্তু বিপরীতমুখী প্রতিক্রিয়া R দেখা দেয়। ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া ছাড়া ব্লকের উপর আপাতদৃষ্টে অন্য কোন বল কাজ করছে না। তুলাপাত্রে যে কোন ছোট ওজন W_1 চাপালে ব্লকটির কপিকলের দিকে এগিয়ে যাওয়া উচিত। কিন্তু দেখা যায় যে, একটি নির্দিষ্ট

পরিমাণ ওজন তুলাপাত্রে না চাপানো পর্যন্ত ব্লকটি গতিশীল হয় না। এই নির্দিষ্ট পরিমাণ বলকে **ঘর্ষণের সীমামান** (Limiting value of friction) বলা হয়। এই সীমায় না পৌঁছানো পর্যন্ত আকর্ষণ বল যত বাড়ে ঘর্ষণও আপনাআপনি বেড়ে গিয়ে তার প্রভাবকে নষ্ট করে দেয়।

ঘর্ষণের **সীমামান** স্পর্শতলদ্বয়ের **ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে না।** গতিশীল বস্তুর উপর প্রযুক্ত **লম্ব প্রতিক্রিয়ায় উপর নির্ভরশীল।** সহজ পরীক্ষায়একথা প্রমাণ করা যায়। প্রথমে A ব্লকটি টেবিলের উপর রেখে তাকে গতি দিতে তুলা পাত্রে কত বল প্রয়োগ করা দরকার নির্ধারণ কর। এবারে A ব্লকটির সমভরের আরেকটি ব্লক A-র উপর চাপিয়ে যুক্ত ব্লকদুটিকে গতি দিতে তুলা পাত্রে কত বল প্রয়োগ দরকার নির্ধারণ কর। দেখ দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, প্রথম ক্ষেত্রের দ্বিগুণ বলের প্রয়োজন হল।

মনে কর, প্রথম ক্ষেত্রে ব্লকের ওজন W; ব্লকের উপর প্রতিক্রিয়া $R_1 = W$ এবং ঘর্ষণের সীমামান F_1। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ব্লক দুটির যুক্ত ওজন $2W$, এবং তাদের উপর প্রতিক্রিয়া $R_2 = 2W$। পরীক্ষা অনুসারে দ্বিতীয় ক্ষেত্রে সীমামান $F_2 = 2F_1$। অতএব দেখা গেল যে,

ঘর্ষণের সীমামান $\propto$ লম্ব প্রতিক্রিয়া

বা $$F \propto R$$

বা $$F = \mu_s R. \quad (\mu_s = \text{একটি ধ্রুবক})$$

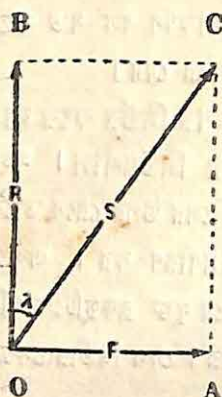
এই ধ্রুবক μ_s-কে **সীমাস্থ ঘর্ষণ গুণাঙ্ক** বা **স্থিত-ঘর্ষণ গুণাঙ্ক** বলা হয়। স্থিত ঘর্ষণ লম্ব প্রতিক্রিয়ার সমানুপাতে বৃদ্ধি পায়।

3. 11 স্থিত-ঘর্ষণ এবং চল-ঘর্ষণ (Static and kinetic friction)

গতি শুরু হওয়ার পূর্ব মুহূর্ত পর্যন্ত ক্রিয়াশীল ঘর্ষণকে **স্থিত ঘর্ষণ** বলে। গতি শুরু হওয়ার পর ঘর্ষণকে **চল ঘর্ষণ** বলা হয়। চল ঘর্ষণের মান স্থিত ঘর্ষণের মানের চেয়ে কম। যদি কোন তলে কোন বস্তুকে সমবেগে গতিশীল রাখতে ন্যূনতম বল F' প্রয়োজন হয় তবে F'/N অনুপাতকে **চল ঘর্ষণ গুণাঙ্ক** μ_k বলে।

$$\therefore \quad F' = \mu_k N$$

3.12 ঘর্ষণ কোণ (Angle of friction)

সীমাস্থ ঘর্ষণের ক্ষেত্রে যদি ঘর্ষণ বল ও লম্ব প্রতিক্রিয়ার লব্ধি নির্ণয় করা যায় তবে ঐ লব্ধি লম্ব প্রতিক্রিয়ার সঙ্গে যে কোণ উৎপন্ন করে তাকে **ঘর্ষণ কোণ** বলা হয়, আর ঐ লব্ধিকে বলে **মোট** বা **লব্ধি প্রতিক্রিয়া** (total বা resultant reaction)।

চিত্র 36

চিত্রে O হল বস্তুদ্বয়ের স্পর্শবিন্দু, R (=OB) হল লম্ব প্রতিক্রিয়া, F (=OA) ঘর্ষণের সীমামান এবং S (=OC) হল মোট প্রতিক্রিয়া। ধর, $\lambda=$ ঘর্ষণ কোণ।

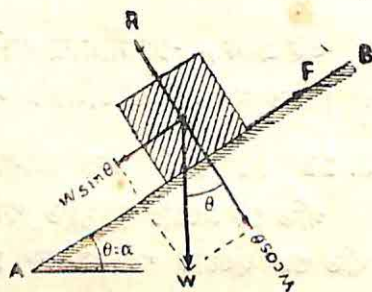
$$\therefore \quad \tan\lambda=\frac{BC}{OB}=\frac{F}{R}=\frac{\mu_s R}{R}=\mu_s$$

ঘর্ষণ কোণের ট্যাঞ্জেণ্ট সীমাস্থ ঘর্ষণ গুণাঙ্কের সমান।

আবার, $S=\sqrt{F^2+R^2}=\sqrt{\mu_s{}^2R^2+R^2}=R\sqrt{1+\mu_s{}^2}$

3.13 স্থিতি কোণ (Angle of repose)

ধর, বস্তুটি AB-তলে অবস্থান করছে। ধীরে ধীরে তলটি আনত কর যতক্ষণ না বস্তুটির সরণ ঘটে। যে মুহূর্তে বস্তুটি গতিশীল হল সেই মুহূর্তে তলের নতিকে **স্থিতি কোণ** বলে। অর্থাৎ নিজের ভারে গতিশীল হওয়া থেকে বিরত করার জন্য কোন তলে সর্বোচ্চ যে নতিকোণ সৃষ্টি করা যায় তা ই **স্থিতি কোণ** বলে।

চিত্র 37

ধর, $W=$ বস্তুর ভার, $R=$ লম্ব প্রতিক্রিয়া, $F=$ ঘর্ষণ বল

$W\sin\theta=$ নততল বরাবর ভারের উপাংশ

$W\cos\theta=$ নততলের লম্বদিকে ভারের উপাংশ

সাম্যের শর্ত থেকে :
$$R=W\cos\theta$$
$$F=W\sin\theta$$

ধর, θ বাড়াতে বাড়াতে $\theta=\alpha$ অবস্থায় সাম্যের সীমান্তে উপনীত হওয়া গেল।

$$\therefore \quad \mu_S=\frac{F}{R}=\frac{W \sin \alpha}{W \cos \alpha}=\tan \alpha$$

কিন্তু $\quad \mu_S=\tan \lambda \quad \therefore \quad \lambda=\alpha$

কাজেই **স্থিতি কোণ ও ঘর্ষণ কোণের মান সমান।**

3. 14 ঘর্ষণের সুবিধা ও অসুবিধা

(Advantages & disadvantages of friction)

ঘর্ষণ বল প্রযুক্ত বলের বিপরীত দিকে হওয়ায় ঘর্ষণের দরুন কোন কাজ করতে আমাদের অতিরিক্ত পরিশ্রম করতে হয়। কিন্তু ঘর্ষণ বল না থাকলে নানা প্রকার অসুবিধাও হত ; যেমন পথ চলা নিরাপদ হত না, গাছে চড়া অসম্ভব হয়ে পড়তো, ব্রেক চেপেও গাড়ীকে থামানো যেতো না, ইত্যাদি ইত্যাদি। কাজেই ঘর্ষণ যেমন একদিকে অনেক অসুবিধা সৃষ্টি করে অন্যদিকে তেমনি আমাদের সুবিধাও দেয়।

3. 15 কোন বস্তু বা বস্তু-সমন্বয়ের উপর **বল ঘটিত সমস্যার সমাধানে** নিম্নোক্ত পদ্ধতি অবলম্বন করলে জটিলতা এড়ানো যায়।

(i) যার স্থিতি বা গতি আলোচনা করতে হবে সেই বস্তুকে বিবেচনাধীনে আনো এবং অন্যান্য বস্তু থেকে একে পৃথক মনে কর।

(ii) এই বস্তুটিকে একটি বিন্দু ধরে এর উপর ক্রিয়াশীল সব কটি বল ভেক্টর চিত্রে প্রকাশ কর। **এই বস্তু অন্য বস্তুর উপর যে বল প্রয়োগ করছে তা কখনো হিসাবে আনবে না।** অজানা বল ভেক্টর চিত্রে অজ্ঞাত রূপে চিহ্নিত থাকবে।

(iii) ঐ ভেক্টর চিত্র থেকে লব্ধি বল বের কর। যদি লব্ধি শূন্য হয়, তবে বস্তুটি সাম্যাবস্থায় থাকবে। নতুবা বস্তুটি লব্ধির অভিমুখ বরাবর ত্বরণে চলবে। ত্বরণ = লব্ধি ÷ বস্তুর ভর।

3. 16 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. 5 সেকেণ্ড ব্যাপী 100 ডাইন বল 25 গ্রাম ভরের উপর ক্রিয়া করল। কত বেগ উৎপন্ন হবে? (পঃ বঃ উঃ মা. **1961**)

ধর, বেগের ফলে উৎপন্ন ত্বরণ $=f$; নির্ণেয় বেগ $=v$;

এখন $P=mf$ সমীকরণ থেকে, $100=25f \quad \therefore \quad f=4$ সেমি/সে^{2}.

আবার $v=ft$ সমীকরণ থেকে (প্রারম্ভিক বেগ $u=o$)

$$v=4\times 5=\mathbf{20} \text{ সেমি/সে.}$$

উদা. 3. 16 পাউণ্ড ভরের উপর 3 সেকেণ্ড ব্যাপী একটি বল ক্রিয়া করল এবং তারপর বলের ক্রিয়া বন্ধ হল। পরবর্তী 3 সেকেণ্ডে বস্তুটি 81 ফুট দূরত্ব অতিক্রম করল। ভরের উপর কত বল ক্রিয়া করেছিল ?

(ইঞ্জিঃ অ্যাডঃ টেস্ট, 1968)

বল ক্রিয়াশীল না থাকলে বস্তুটি সমবেগে চলবে। ধর, ঐ সমবেগ $=v$;

$s=vt$ সমীকরণ থেকে $81=v\times 3$

$\therefore \quad v=81/3=27$ ফু/সে.

এই সমবেগ 3 সেকেণ্ড সময়ে বল কর্তৃক উৎপন্ন হয়েছে।

অতএব $v=ft$ সমীকরণ থেকে $27=3f \quad \therefore \quad f=27/3=9$ ফু/সে^{2}

$\therefore$ বল $P=mf=16\times 9=\mathbf{144}$ **পাউণ্ডাল**

উদা. 2. ঘণ্টায় 45 মাইল বেগে ধাবমান এক মোটর চালক 100 ফুট সামনে একটি শিশুকে দেখে তৎক্ষণাৎ ইঞ্জিন বন্ধ করে ব্রেক কষলো। শিশুটির 1 ফুট সামনে এসে গাড়িটি থেমে গেল। গাড়িটি থামতে কত সময় নিল এবং তার উপর কত বল প্রয়োগ করা হয়েছিল ? চালক সহ গাড়ীর ভর 2000 পাউণ্ড।

গাড়ীর প্রাথমিক বেগ $=u=45$ মাইল/ঘণ্টা $=66$ ফুট/সেকেণ্ড ; গাড়ীর চূড়ান্ত বেগ $=v=0$;

স্থির অবস্থায় আসার পূর্বে অতিক্রান্ত দূরত্ব $s=100-1=99$ ফুট

$\therefore \quad v^2=u^2-2fs$ সূত্রানুসারে, $0=66^2-2f\times 99$

$\therefore \quad f=22$ ফুট/সে^{2} ; $v=u-ft$ থেকে, $0=66-22t$

$$\therefore \quad t=66/22=3$$

$\therefore$ গাড়িটি স্থির অবস্থায় আসতে সময় নেয় **3 সেকেণ্ড** এবং গাড়ির উপর প্রযুক্ত মন্দন বল $P=mf=2000\times 22=\mathbf{44,000}$ **পাউণ্ডাল**।

উদা. 4. 5 পাউণ্ড ভরের একটি বস্তুর উপর 6 পাউণ্ড ভারের একটি বল ক্রিয়া করলে 10 সেকেণ্ডে বস্তুটি কতদূর যাবে ?

প্রশ্নানুসারে, প্রযুক্ত বল $P=6$ পাউণ্ড ভার $=6\times 32$ পাউণ্ডাল

বস্তুর ভর $m=5$ পাউণ্ড

$\therefore$ $P=mf$ থেকে $6\times 32=5f$ $\therefore$ $f=\frac{6\times 32}{5}$ ফুট/সে^{2}

আবার, বস্তুর প্রাথমিক বেগ $u=0$; $\therefore$ $s=\frac{1}{2}ft^2$ সূত্র থেকে

$$\text{নির্ণেয় অতিক্রান্ত দূরত্ব} = \tfrac{1}{2}\times\frac{6\times 32}{5}\times 10^2 = \mathbf{1920}\ \text{ফুট}$$

উদা. 5. সেকেণ্ডে 30 ফুট বেগে চলমান $5\frac{1}{2}$ আউন্স ওজনের একটি ক্রিকেট বলকে $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ডে গতিহীন করা হল। বলটিতে কত বল প্রয়োগ করা হয়েছিল ?

বলটির বেগ $u=30$ ফু/সে. ; বলটির ভর $=5\frac{1}{2}$ আউন্স $=\frac{1}{16}\times\frac{11}{2}$ পাউণ্ড

ধর, বলটির মন্দন $-=f$ $\therefore$ $v=u+ft$ সূত্র থেকে,

$0=30-f.\frac{1}{5}$ $\therefore$ $f=150$ ফুট/সেকেণ্ড^2

$\therefore$ বলটির উপর প্রযুক্ত বল $P=mf=\frac{11}{16\times 12}\times 150$ পাউণ্ডাল

$=$**51·56 পাউণ্ডাল**

উদা. 6. 50 পাউণ্ড ওজনের একটি হাতুড়ি 12 ফুট উঁচু থেকে একটি গোঁজার উপর পড়ে $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ডে সম্পূর্ণ গতিহীন হল। হাতুড়ি কত বল প্রয়োগ করল ?

গোঁজার উপর পড়ার পূর্ব মুহূর্তে হাতুড়ির বেগ v হলে $v^2=2gh$

($\because$ প্রারম্ভিক বেগ $u=0$, ত্বরণ $=$ অভিকর্ষজ ত্বরণ $=g$, $s=h$, উচ্চতা)

$\therefore$ $v^2=2\times 23\times 12$ $\therefore$ $v=16\sqrt{3}$ ফু/সে

ঐ মুহূর্তে হাতুড়ির ভরবেগ $=50\times 16\sqrt{3}$ ফুট পাউণ্ড/সে.

$\frac{1}{5}$ সেকেণ্ড পরে হাতুড়ির ভরবেগ $=0$

$\therefore$ ভরবেগের পরিবর্তন $=50\times 16\sqrt{3}=$ হাতুড়ি প্রযুক্ত বলের ঘাত

$\therefore$ ঘাত বল $= 50 \times 16\sqrt{3}/(1/5) = 5 \times 50 \times 16\sqrt{3}$ পাউণ্ডাল

$= 5 \times 50 \times 16\sqrt{3}/32 = 216.25$ পাউণ্ড ভার

$\therefore$ গোঁজার উপর প্রদত্ত মোটবল $= 50 + 216.25 =$ **266.25 পাউণ্ড ভার**

উদা. 7. 1 টন ওজনের একটা কামান থেকে 2 হন্দর ওজনের একটি গুলি ছোঁড়া হলে গুলিটি 1200 ফুট/সেকেণ্ড বেগে বেরিয়ে গেল। কামানের পিছু হটার প্রারম্ভিক বেগ কত? গুলিটিকে 1 গজ দূরত্বের মধ্যে থামাতে গেলে কত বল প্রয়োগ করতে হবে?

কামানের ভর $= 1$ টন $= 2240$ পাউণ্ড

গুলির ভর $= 2$ হন্দর $= 28 \times 4 \times 2$ পাউণ্ড

গুলি ছোঁড়ার পর কামানের ভরবেগ $= 2240\,v$ (v নির্ণেয় পিছু হটার বেগ)

গুলি ছোঁড়ার পর গুলির ভরবেগ $= 28 \times 4 \times 2 \times 1200$ ফুট পাউণ্ড/সে.

গুলি ছোঁড়ার আগে কামান ও গুলির মোট ভরবেগ $= 0$

$\therefore$ ভরবেগের নিত্যতা সূত্রানুসারে, $2240\,v + 28 \times 4 \times 2 \times 1200 = 0$

$$\therefore\ v = -\frac{4 \times 28 \times 2 \times 1200}{2240} = -\mathbf{120} \text{ ফু/সে}$$

($-$ চিহ্নে বোঝায় যে বন্দুকের বেগের অভিমুখ গুলির বিপরীতে)

ধর, বল কর্তৃক প্রযুক্ত ত্বরণ $= -f$ ($-$ চিহ্নের কারণ মন্দন)।

$\therefore v^2 = u^2 + 2fs$ সূত্র থেকে : $0 = 120^2 - 2f.3$

$$\therefore\ f = \frac{120^2}{3 \times 2} = 2400 \text{ ফু/সে}^2$$

$\therefore$ নির্ণেয় বল $P = mf = 2240 \times 2400$ প্যাউণ্ডাল

$$= \frac{2240 \times 2400}{32} \text{ পাউণ্ড ভার}$$

$$= \frac{2240 \times 2400}{32 \times 2240} = \mathbf{75} \text{ টন ভার}$$

উদা. 8. 100 পাউণ্ডের একটি ভরকে অমসৃণ তলে স্থিরাবস্থা থেকে সচল করতে তলের সমান্তরালে কত বল প্রয়োগ করতে হবে? (ঘর্ষণ গুণাঙ্ক $= 0.16$)

নির্ণেয় বল $F = \mu_s R$; এখানে $R = 100$ পাউণ্ড ভার ; $\mu_s = 0.16$

$\therefore\ F = 100 \times 0.16 =$ **16 পাউণ্ড ভার**

উদা. 6. সেকেণ্ডে 12 ফুট বেগে চলমান 40 পাউণ্ডের একটি গোলা বিস্ফোরণে 28 এবং 12 পাউণ্ডের দুটি খণ্ডে ভেঙ্গে গেল। বিস্ফোরণের ফলে প্রথম খণ্ডটি যদি গতিহীন হয়ে পড়ে তবে দ্বিতীয় খণ্ডটির বেগ নির্ণয় কর।

ধর, 12 পাউণ্ড খণ্ডটির বিস্ফোরণ-উত্তর বেগ $=V$ ফুট/সে। সমগ্র গোলাটির ভরবেগ $=40\times12=4800$ ফুট পাউণ্ড/সে.।

বিস্ফোরণের পর 28 পাউণ্ড খণ্ডের ভরবেগ $=28\times0=0$

,, ,, 12 ,, ,, ,, $=12\times V=12V$

ভরবেগের নিত্যতা সূত্র অনুসারে : $4800=0+12V$

বা, **$V=400$ ফুট/সেকেণ্ড**

তালিকা 3·1 : ঘর্ষণ গুণাঙ্ক

তলের উপাদান	μ_s	μ_k
ইস্পাত-ইস্পাত	0·74	0·57
পিতল-ইস্পাত	0·51	0·44
কাচ-কাচ	0·94	0·40
তামা-কাচ	0·68	0·53
রবার-কংক্রিট (শুকনো)	1·00	0·70
রবার-কংক্রিট (ভিজে)	0·70	0·50

অনুশীলনী

1. নিউটনের গতিসূত্রগুলি বর্ণনা কর।

2. নিউটনের প্রথম সূত্র থেকে বলের সংজ্ঞা এবং দ্বিতীয় সূত্র থেকে বলের পরিমাণ পাওয়া যায়—ব্যাখ্যা কর।

3. জাড্য বলতে কি বোঝ? উদাহরণসহ গতি জাড্য ও স্থিতি জাড্য ব্যাখ্যা কর। $P=mf$ সমীকরণটি প্রমাণ কর।

4. সি. জি. এস্ ও এফ্. পি. এস্ পদ্ধতিতে বলের এককগুলি কি কি? ওদের সংজ্ঞা লেখ।

5. ডাইন, পাউণ্ডাল ও নিউটন বলতে কি বোঝ? ওদের পারস্পরিক সম্পর্কগুলো কি?

6. বলের চরম একক ও অভিকর্ষীয় একক বলতে কি বোঝ ? উভয়ের মধ্যে সম্পর্ক কি ?

7. বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের মান কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভরশীল ?

8. নিউটনের তৃতীয় সূত্রের তাৎপর্য কি ? ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া বলতে কি বোঝ ? বন্দুক ছুঁড়লে কাঁধে ঝাঁকুনি লাগে—ব্যাখ্যা কর।

9. ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া বল যদি সমান ও বিপরীতই হয় তবে উভয়ের যুগপৎ অস্তিত্বে অনস্তিত্ব-সূচিত হয় না কেন ?

10. রৈখিক ভরবেগের নিত্যতা সূত্র কি ? এর সাহায্যে কয়েকটি পরিচিত ঘটনা ব্যাখ্যা কর।

11. ঘাত বল ও বলের ঘাত বলতে কি বোঝ ? ঘাত বল কি করে মাপা হয় বল।

12. দেখাও যে, বলের ঘাত=ভরবেগের পরিবর্তন।

13. স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ বলতে কি বোঝ ? দেখাও যে, একই দিকে গতিশীল দুটি সমভর বস্তুকণা স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষে বেগ অদল-বদল করে।

14. জেট পরিচলন বলতে কি বোঝ ? জেট বা প্রতিক্রিয়ার ধাক্কা কাকে বলে ? দেখাও যে, সেকেণ্ডে যে জ্বালানি খরচ হয় জেট তার সমানুপাতী।

15. রকেট ও জেটে পার্থক্য কি ? এই পার্থক্যের কারণ কি ?

16. ঘর্ষণ কি ? ঘর্ষণ কয় প্রকার ও কি কি ? উদাহরণসহ প্রত্যেক প্রকার ঘর্ষণ ব্যাখ্যা কর।

17. ঘর্ষণের নিয়ম সংক্রান্ত সূত্রাবলীর পরিচয় দাও। স্থিত ঘর্ষণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লেখ। স্থিত ঘর্ষণ ও চল ঘর্ষণে প্রভেদ কি ?

18. ঘর্ষণ কোণ কাকে বলে ? দেখাও যে, ঘর্ষণ কোণের ট্যাঞ্জেণ্ট সীমাস্থ ঘর্ষণ গুণাঙ্কের সমান।

19. স্থিতি কোণ বলতে কি বোঝ ? দেখাও যে, স্থিতি কোণ ও ঘর্ষণ কোণের মান সমান। ঘর্ষণের সুবিধা ও অসুবিধা সম্পর্কে একটি অনুচ্ছেদ লেখ।

20. 5 কিলোগ্রাম ভরের বন্দুক থেকে 10 গ্রাম ভরের বুলেট সেকেণ্ডে 400 মিটার বেগে নিক্ষেপ করা হল। বন্দুকটি কত বেগে পিছন দিকে যাবে ?

[80 সেমি/সে]

21. 200 ডাইনের একটি বল 50 গ্রাম ভরের উপর 10 সেকেণ্ড ধরে ক্রিয়াশীল থাকলে ভরটির বেগ নির্ণয় কর। [40 সেমি/সে]

22. সেকেণ্ডে 10 মিটার বেগে গতিশীল 10 গ্রাম ভরের একটি বস্তু সেকেণ্ডে 5 মিটার বেগে একই দিকে গতিশীল 5 গ্রাম ভরের অন্য একটি বস্তুর সঙ্গে স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষে লিপ্ত হল। সংঘর্ষের পর উভয়ের বেগ নির্ণয় কর।

23. $5\frac{1}{2}$ আউন্স ওজনের এবং 30 ফুট/সেকেণ্ড বেগে ছুটন্ত একটি ক্রিকেট বলকে $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ডে গতিহীন করা হল। প্রযুক্ত গড় বিরুদ্ধ বল নির্ণয় কর।

(পঃ বঃ উঃ মাঃ) [51·56 পাউণ্ডাল]

24. m_1 ও m_2 ($m_1 > m_2$) ভরের দুটি বস্তুকণা একটি উপেক্ষণীয় ওজনের সুতোর দুই প্রান্তে বেঁধে একটি মসৃণ কপিকলের দুই দিকে ঝোলানো আছে। এদের গতি আলোচনা কর। সমত্বয়ের ত্বরণ এবং সুতোর টান কত?

$$\left[f = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g \; ; \; T = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} g \right]$$

25. এক ব্যক্তি 2 ফুট/সে^{2} ত্বরণে নিচের দিকে গতিশীল একটি লিফটে দাঁড়িয়ে আছে। ঐ ব্যক্তির ওজন 120 পাউণ্ড হলে, লিফটের মেঝেতে সে কত বল প্রয়োগ করবে? যদি লিফটটি উপরের দিকে ওঠে তা হলে লিফট ঐ ব্যক্তির উপর কি বল প্রয়োগ করবে? [3600 পাউণ্ডাল ; 4080 পাউণ্ডাল]

26. 3500 পাউণ্ড ভরের একটি অটোমোবিল ঘণ্টায় 60 মাইল বেগে সমবেগে চলছে। তাকে ব্রেক কষে 1 সেকেণ্ডে গতিহীন করতে কি পরিমাণ বল প্রয়োগ করবে? (কঃ বিঃ **1956**) [$3·08 \times 10^5$ পাউণ্ডাল]

27. অবাধে সঞ্চরণশীল 1 কিলোগ্রাম ভরের একটি ঝোলানো বন্দুক থেকে 10 গ্রাম ভরের একটি বুলেট ছোঁড়া হল। বুলেটটি 990 গ্রাম ভরের একটি কাঠের ব্লকে প্রবেশ করার মুখে ওর বেগ ছিল 500 মি/সেকেণ্ড। বন্দুকের পিছু হটার বেগ এবং বুলেট কর্তৃক ব্লকে সঞ্চারিত বেগ নির্ণয় কর।

(গৌহাটি **1957**) [5 মি/সে ; 5 মি/সে.]

28. শকটস্থিত কোন কামানের ভর শকট শুদ্ধ 5 টন। কামান থেকে 1000 ফু/সে বেগে একটি 50 পাউণ্ডের গোলা নিক্ষেপ করা হল। কামানের পিছু হটার বেগ কত? (উৎকল **1957**) [4·46 ফুট/সে]

29. একটি বস্তু A একটি এরোপ্লেন B উপর অবস্থান করেছে। ব্যাখ্যা করে বল কি অবস্থায় A ও B-এর ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া

(a) A-র ওজনের সমান হবে (c) A-র ওজনের চেয়ে কম হবে

(b) A-র ওজনের চেয়ে বেশী হবে (d) শূন্য হবে। (উৎকল **1956**)

4 চতুর্থ অধ্যায়

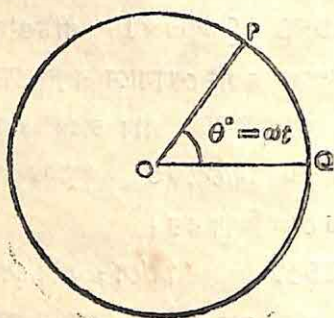
ঘূর্ণন গতি (Rotational Motion)

4. 1 বস্তুকণার ঘূর্ণন গতি (Rotational motion of a particle)

এতোক্ষণ বস্তুকণার সরলরৈখিক গতি আলোচনা করা হয়েছে। এই অধ্যায়ে বস্তুর ঘূর্ণন গতি সম্পর্কে বলা হচ্ছে।

কোন বস্তুকণা যদি কোন নির্দিষ্ট বিন্দু বা অক্ষ (axis) থেকে সর্বদা সম-দূরত্ব বজায় রেখে সঞ্চরণ করে তবে তার গতিকে **ঘূর্ণন বা আবর্তন বলে।** স্পষ্টত বস্তুকণার সঞ্চারপথ একটি বৃত্ত। যদি বস্তুকণাটি ঐ বৃত্তপথে সমদ্রুতিতে সঞ্চরণ করে অর্থাৎ সমান সময়-অবকাশে সমান বৃত্তচাপ অতিক্রম করে তবে বস্তুকণার ঐ ঘূর্ণন গতি **সমদ্রুতির বৃত্তীয় গতি** (uniform circular motion)।

4. 2 কয়েকটি সংজ্ঞা (Some definitions)

কৌণিক বেগ (Angular velocity)—ধরা যাক, P বস্তুকণাটি r $(=OQ)$ ব্যাসার্ধযুক্ত বৃত্তপথে পরিভ্রমণরত এবং t সময়ে θ $(=\angle POQ)$ কোণ উৎপন্ন করে। তা হলে বস্তুটির কৌণিক বেগ ω হল

$$\omega = \frac{\theta}{t} \text{ বা } \theta = \omega t \qquad \cdots(1)$$

$$\therefore \text{কৌণিক বেগ} = \frac{\text{কৌণিক সরণ}}{\text{অতিক্রান্ত সময়}}$$

চিত্র 37

কাজেই, কোন বস্তুকণার কৌণিক বেগ হল ঐ কণা কর্তৃক একক সময়ে উৎপন্ন কোণ। সম-বৃত্তীয় গতির ক্ষেত্রে $\omega =$ ধ্রুবক। (1) নং সমীকরণের সঙ্গে $s = vt$ সমীকরণ তুলনীয়।

কৌণিক ত্বরণ (Angular acceleration)—আমরা দেখেছি, সরলরৈখিক গতি সমবেগ বা অ-সমবেগ দুই-ই হতে পারে। আবর্ত বা বৃত্তীয় গতিও সম বা

অসম কৌণিক বেগে হতে পারে। যদি বস্তুকণার কৌণিক বেগ সময়ের সঙ্গে পরিবর্তিত হয় তবে বস্তুকণা কৌণিক ত্বরণযুক্ত বলা হয়।

সরলরৈখিক গতির সূত্র ধরে এক্ষেত্রেও কৌণিক ত্বরণের সংজ্ঞা দেওয়া চলে।

কৌণিক বেগের পরিবর্তনের হারকে কৌণিক ত্বরণ বলে।

যদি ω_2 ও ω_1 দ্বারা যথাক্রমে চরম ও প্রারম্ভিক কৌণিক বেগ এবং t দ্বারা অতিক্রান্ত সময় সূচিত করা হয় তবে কৌণিক ত্বরণ α হল :

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t}$$

$$\therefore \text{ কৌণিক ত্বরণ} = \frac{\text{কৌণিক বেগের পরিবর্তন}}{\text{অতিক্রান্ত সময়}}$$

$$\therefore \quad \omega_2 - \omega_1 = \alpha t$$

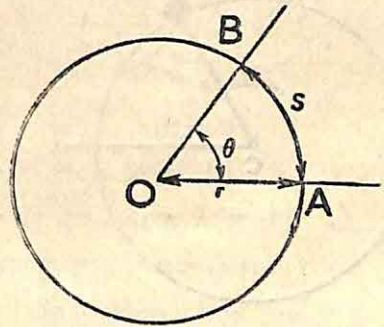
$$\text{বা,} \quad \omega_2 = \omega_1 + \alpha t \qquad \text{.......(2)}$$

এই (2) নং সমীকরণের সঙ্গে $v = u + ft$ সমীকরণের তুলনা করা চলে।

4.3 কৌণিক বেগ ও রৈখিক বেগের সম্পর্ক

(Relation between angular & linear velocity)

ধর, কোন বস্তুকণার কৌণিক বেগ ω, আনুষঙ্গিক রৈখিক বেগ v এবং বস্তুটি r ($=OA$) ব্যাসার্ধযুক্ত একটি বৃত্তপথে পরিভ্রমণরত। ধর, t সেকেণ্ডে বস্তুটি A বিন্দু থেকে B-তে এল এবং $\angle BOA = \theta$।

স্পষ্টত কৌণিক সরণ $= \theta$ এবং আনুষঙ্গিক রৈখিক সরণ $s =$ বৃত্তচাপ $AB = r\theta$ ($\because$ কোণ = চাপ/ব্যাসার্ধ)

চিত্র 38

$$\therefore \quad \text{রৈখিক বেগ } v = \frac{r\theta}{t} = r\omega \qquad \text{........(3)}$$

$$\therefore \quad v = r\omega \quad \text{বা} \quad \omega = v/r \qquad \text{......(4)}$$

$\therefore$ **রৈখিক বেগ = কৌণিক বেগ × বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ**

বা **কৌণিক বেগ = রৈখিক বেগ/বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ**

কৌণিক বেগ মাপা হয় **রেডিয়ান/সেকেণ্ড** এককে। কোন বস্তুকণার একটি আবর্তন সমাধা করতে যে সময় লাগে তাকে **আবর্তন কাল** বা **সময় কাল** (time period) T বলে। পূর্ণ আবর্তনের অর্থ 2π রেডিয়ান অতিক্রম করা।

$$\therefore \quad \omega = 2\pi/T \text{ বা } T = 2\pi/\omega$$

সেকেণ্ডে যে কটি পূর্ণ আবর্তন হয় তাকে **আবর্তনাঙ্ক** (frequency) n বলে।

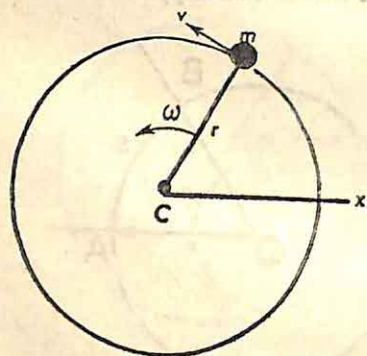
$$\therefore \quad n = 1/T = \omega/2\pi \qquad \therefore \quad \omega = 2\pi n$$

$$\therefore \quad v = r\omega = 2\pi nr = 2\pi r/T$$

4. 4 কৌণিক ভরবেগ (Angular momentum)

m-ভরযুক্ত কোন বস্তুকণা v রৈখিক বেগে গতিশীল হলে mv (অর্থাৎ ভর × বেগ)-কে ঐ বস্তুকণার **রৈখিক ভরবেগ** (linear momentum) p বলে। এ কথা আমরা আগে জেনেছি।

কিন্তু **কোন অক্ষ সাপেক্ষে ঐ m-ভরযুক্ত** এবং v **রৈখিক বেগে গতিশীল বস্তুকণার কৌণিক ভরবেগ L বলতে তার রৈখিক ভরবেগ ও অক্ষ থেকে বস্তুর গতিরেখা** (line of motion)-**র লম্ব-দূরত্বের গুণফলকে বোঝায়।**

চিত্র 39

$\therefore$ **কৌণিক ভরবেগ = রৈখিক ভরবেগ × লম্ব অক্ষ দূরত্ব**

$$L = mv.\,r \qquad \text{...(5)}$$

r = হল বস্তুকণার গতিরেখা থেকে অক্ষের লম্ব-দূরত্ব। পাশের 39নং চিত্রে অক্ষটি পৃষ্ঠার সমতলের সঙ্গে লম্বভাবে C বিন্দু দিয়ে গেছে।

পরবর্তী অনুচ্ছেদে আমরা দেখব যে, কৌণিক ভরবেগের এই সংজ্ঞার সঙ্গে বলের ভ্রামকের সংজ্ঞার বিশেষ সাদৃশ্য রয়েছে। এজন্য কৌণিক ভরবেগকে **রৈখিক ভরবেগের ভ্রামক** (moment of momentum)-ও বলে।

(5) নং সমীকরণকে নিম্নোক্তভাবেও লেখা যায়

$$L = mvr = mr^2\omega \qquad (\because \; v = r\omega)$$

$$= I.\omega \quad (mr^2\text{-এর বদলে } I \text{ বসিয়ে})$$

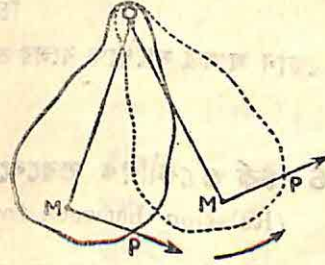
$\therefore$ $I=mr^2$; I-কে বস্তুর **জাড্য ভ্রামক** (moment of inertia) বলে।

$\therefore$ **কৌণিক ভরবেগ = জাড্য ভ্রামক × কৌণিক বেগ**

লক্ষ্য কর, কৌণিক ভরবেগের এই সংজ্ঞার সঙ্গে রৈখিক ভরবেগের সংজ্ঞার সাদৃশ্য দেখা যাচ্ছে। একটি বেগ (রৈখিক) ও ভরের গুণফল, অন্যটি বেগ (কৌণিক) ও জাড্য ভ্রামকের গুণফল।

এ থেকে বলা যায়ঃ **রৈখিক গতিতে ভরের যে ভূমিকা ঘূর্ণন গতিতে জাড্য ভ্রামকের সেই ভূমিকা। ভর রৈখিক জাড্যতার পরিমাপক, জাড্য ভ্রামক তেমনি ঘূর্ণন জাড্যতার পরিমাপক।**

4. 5 বলের ভ্রামক বা টর্ক (Moment of a force or torque)

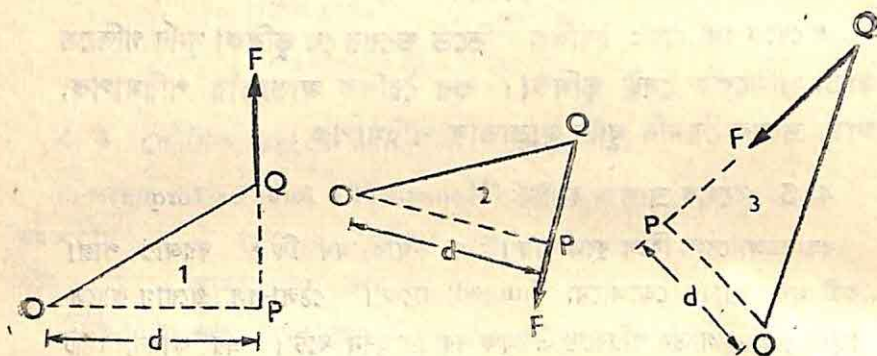
বদ্ধ দরজা ঠেলা দিলে খুলে যায়। এ কথার অর্থ কি? দরজার পাল্লা একটি অক্ষ বরাবর ঝোলানো (hinged) থাকে। ঠেলা-বল প্রয়োগ করলে দরজার রৈখিক গতির পরিবর্তে ঐ অক্ষ বরাবর ঘূর্ণন ঘটে। এর কারণ, বস্তুটি ঝোলানো থাকায় ওর পক্ষে কেবল ঘূর্ণনই সম্ভব। কাজেই, কোন বস্তুতে প্রযুক্ত বল বস্তুর অবস্থা অনুসারে রৈখিক বা ঘূর্ণন গতি সৃষ্টি করে। প্রযুক্ত বল যত বেশি হবে তত সহজে দরজাটি ঘুরবে। **ঘূর্ণন প্রযুক্ত বলের সমানুপাতী।** আবার যে অক্ষ বরাবর পাল্লা ঝোলানো সেই অক্ষ থেকে বলের প্রয়োগবিন্দু যত বেশি দূরে হবে তত সহজে পাল্লাটি ঘুরবে। ঘূর্ণন শুধু প্রযুক্ত বলের সমানুপাতী নয়, **ঘূর্ণন অক্ষ থেকে বলের ক্রিয়ারেখার লম্ব-দূরত্বেরও সমানুপাতী।**

চিত্র 40

কাজেই, **কোন বস্তুতে প্রযুক্ত বলের ঘূর্ণন প্রবণতা বলের মান P ও ঘূর্ণন অক্ষ থেকে ক্রিয়ারেখার লম্ব-দূরত্ব d-র গুণফলের দ্বারা মাপা চলে। এই গুণফলকে ঐ অক্ষ বরাবর উক্ত বলের ভ্রামক বলা হয়।**

$\therefore$ **বলের ভ্রামক = বলের মান × ক্রিয়ারেখার লম্ব-দূরত্ব**

$$\Gamma = P.\, d$$

বলের ভ্রামককে টর্ক-ও বলা হয়। ভ্রামক বা টর্ক কোন অক্ষের সাপেক্ষে না হয়ে কোন বিন্দুর সাপেক্ষে-ও হতে পারে।

বলের ফলে বস্তুর ঘূর্ণন বামাবর্তী (anti-clockwise) বা দক্ষিণাবর্তী (clock wise) দুই-ই হতে পারে। ঘূর্ণন প্রবণতা **বামাবর্তী** হলে **টর্ক ধনাত্মক (positive), দক্ষিণাবর্তী** হলে **ঋণাত্মক (negative)** ধরা হয়। 41নং চিত্রে (1) ও (3)-এর ক্ষেত্রে টর্ক ধনাত্মক, (2)-এর ক্ষেত্রে ঋণাত্মক।

চিত্র 41

ধর, কোন অক্ষের সাপেক্ষে বলের ভ্রামক শূন্য। এ থেকে কি সিদ্ধান্ত করা যায়?

4. 6 টর্ক ও কৌণিক ভরবেগের পারস্পরিক সম্পর্ক (Relation between torque & angular momentum)

রৈখিক গতির ক্ষেত্রে m-ভরযুক্ত বস্তুকণায় P বল ক্রিয়াশীল হলে বস্তুকণা যদি f ত্বরণ সৃষ্টি হয় তবে, $P = mf$ ....(6)

অর্থাৎ বল = ভর × ত্বরণ

অনুরূপভাবে, ঘূর্ণন গতির ক্ষেত্রে I জাড্য-ভ্রামক বিশিষ্ট বস্তুকণায় Γ টর্ক ক্রিয়াশীল হলে যদি α কৌণিক ত্বরণ সৃষ্টি হয়, তবে

$$\Gamma = I\alpha \qquad \text{.........(7)}$$

অর্থাৎ **টর্ক = জাড্য ভ্রামক × কৌণিক ত্বরণ**

কিন্তু $\alpha = \dfrac{\omega_2 - \omega_1}{t}$ $\therefore \Gamma = I\dfrac{\omega_2 - \omega_1}{t} = \dfrac{I\omega_2 - I\omega_1}{t}$

$$\therefore \Gamma = \frac{\text{চরম কৌণিক ভরবেগ} - \text{প্রারম্ভিক কৌণিক ভরবেগ}}{\text{অতিক্রান্ত সময়}}$$

অর্থাৎ **টর্ক = কৌণিক ভরবেগের পরিবর্তনের হার**

4.7 রৈখিক গতি বনাম ঘূর্ণন গতি
(Rectilinear vs. rotational motion)

এই অধ্যায়ের আলোচনায় দেখা গেল, রৈখিক গতির সঙ্গে ঘূর্ণন গতির একটা সদৃশভাব (correspondence) রয়েছে। নিচের তালিকায় সেই সাদৃশ্য সংক্ষিপ্ত আকারে তুলে ধরা হল।

রৈখিক গতি	ঘূর্ণন গতি
সরণ : x, s	সরণ : θ
বেগ : v, u	বেগ : ω, ω_0
ত্বরণ : f	ত্বরণ : α
ভর : m	জাড্য ভ্রামক : I
ভরবেগ : mv	ভরবেগ : $I\omega$
বল : P	টর্ক : Γ
$P=mf$	$\Gamma=I\alpha$
ঘাত : $Pt=m(v-u)$	ঘাত : $\Gamma t=I(\omega-\omega_0)$
কাজ : Ps	কাজ : $\Gamma\theta$
ক্ষমতা : Pv	ক্ষমতা : $\Gamma\omega$
গতিশক্তি : $\frac{1}{2}mv^2$	গতিশক্তি : $\frac{1}{2}I\omega^2$
$v=u+ft$	$\omega=\omega_0+\alpha t$
$s=ut+\frac{1}{2}ft^2$	$\theta=\omega_0 t+\frac{1}{2}\alpha t^2$
$v^2=u^2+2fs$	$\omega^2=\omega_0^2+2\alpha\theta$

4.8 ঘূর্ণন বেগ ও নিউটনের গতিসূত্র
(Rotational motion & Newton's laws)

রৈখিক বেগে প্রযোজ্য নিউটনের গতিস্থত্রগুলো ঘূর্ণনের ক্ষেত্রে নিম্নোক্ত রূপ নেবে।

প্রথম সূত্র : বাইরে থেকে কোন প্রযুক্ত টর্ক বাধ্য না করলে স্থির বস্তু চিরকাল স্থির অবস্থায় থাকবে এবং ঘূর্ণনশীল বস্তু চিরকাল সমদ্রুতিতে ঘুরবে।

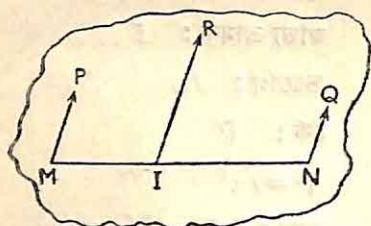
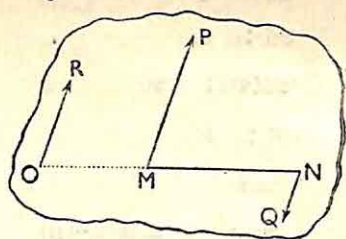
দ্বিতীয় সূত্র : বস্তুরকৌণিক ভরবেগের পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত টর্কের

সমানুপাতী এবং টর্ক যে অভিমুখে ক্রিয়াশীল, কৌণিক ভরবেগের পরিবর্তনও সেই অভিমুখে ঘটে।

তৃতীয় সূত্র ঃ প্রত্যেক টর্কের একটি সমান ও বিপরীত টর্ক থাকে।

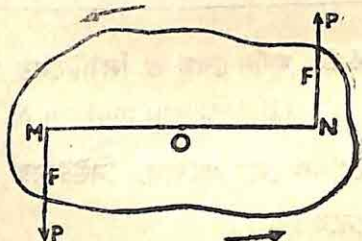
4. 9 সমান্তরাল বল এবং দ্বন্দ্ব (Parallel forces and couple)

যে সমস্ত বলের ক্রিয়ারেখা পরস্পর সমান্তরাল তাদের **সমান্তরাল বল** বলে। সমান্তরাল বল দু-প্রকারের। যথা : **সমমুখী সমান্তরাল বল** (like parallel forces) এবং **বিপরীতমুখী সমান্তরাল বল** (unlike parallel forces)।

সমান্তরাল বলের লব্ধি : যদি দুটি সমমুখী সমান্তরাল বল P ও Q কোন বস্তুতে প্রযুক্ত হয় তবে ওদের **লব্ধি** বলের মান $R=P+Q$ (চিত্র 42)। লব্ধি

চিত্র 42

চিত্র 43

বলও P ও Q-এর সঙ্গে সমান্তরাল ও সমমুখী। লব্ধি বলের প্রয়োগবিন্দু I এরূপ যে $P \times MI = Q \times NI$; M ও N যথাক্রমে P ও Q বলের প্রয়োগবিন্দু।

যদি দুটি সমান্তরাল বল P, Q বিপরীতমুখী হয় এবং $P>Q$ হয় (চিত্র 43), তবে ওদের **লব্ধি** বলের পরিমাণ $R=P-Q$ এবং এই লব্ধি বল P-এর সমান্তরাল অভিমুখে O বিন্দুতে প্রযুক্ত হয়। O-এর অবস্থান $P \times MO = Q \times NO$ সমীকরণ দ্বারা নির্ধারিত হয়।

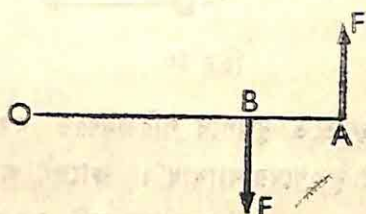
দ্বন্দ্ব—যখন দুটি বিপরীতমুখী সমান্তরাল বল সম-মানের হয় তখন ওদের লব্ধি বল শূন্য এবং বল দুটি **দ্বন্দ্ব** গঠন করে। 44 চিত্রে দুটি সম-বল P, P যথাক্রমে বস্তুর M ও N বিন্দুতে ক্রিয়াশীল হয়ে দ্বন্দ্ব গঠন করেছে।

চিত্র 44

কোন বস্তুতে দ্বন্দ্ব প্রযুক্ত হলে ঐ বস্তুর ঘূর্ণন ঘটে। প্রাত্যহিক জীবনে

আমরা দ্বন্দ্বের এই গুণকে কাজে লাগাই। যখন আমরা দরজার নব (knob) ঘুরাই, ঘাড়তে চাবি দিই, স্ক্রু-কে লাগাই, জলের কলের চাবি ঘুরাই, লাট্টু ঘুরাই তখন দ্বন্দ্ব প্রয়োগ করি। দ্বন্দ্বের ঘূর্ণন প্রবণতা দ্বন্দ্বের ভ্রামক বা টর্কের সাহায্যে পরিমাপ করা হয়।

দ্বন্দ্বের ভ্রামক বা টর্ক বলতে বল দুটির লম্ব-ব্যবধান এবং যে কোন বলের (কারণ উভয় বলই সমান) **মানের গুণফল বোঝায়।** বল দুটির মধ্যের লম্ব-দূরত্বকে **দ্বন্দ্বের বাহু** (arm of the couple) বলা হয়। চিত্রে MN দ্বন্দ্বের বাহু।

$\therefore$ **দ্বন্দ্বের ভ্রামক বা টর্ক = দ্বন্দ্বের বাহু × বলের মান**

কাজেই কোন দ্বন্দ্বের টর্কের মান ঘূর্ণন-অক্ষ বা ঘূর্ণন-বিন্দুর উপর নির্ভর করে না। সুতরাং কোন নির্দিষ্ট **দ্বন্দ্বের ভ্রামক একটি ধ্রুবক**। উদাহরণস্বরূপ, পাশের চিত্রের দ্বন্দ্বের কথা ধরা যাক। ধর, F, F বল দুটি পৃষ্ঠার সমতলে অবস্থিত এবং ঘূর্ণন-অক্ষ পৃষ্ঠার সমতলের সঙ্গে লম্বভাবে O বিন্দু দিয়ে যাচ্ছে। বল দুটি হল $F_1 = F_2 = F$; F_1-এর প্রয়োগবিন্দু A, F_2-র প্রয়োগ বিন্দু B।

চিত্র 45

$$\therefore \quad O\text{-র সাপেক্ষে } F_1\text{-র টর্ক} = F.\,\vec{OA}$$

$$O \text{ র সাপেক্ষে } F_2\text{-র টর্ক} = F.\,\vec{OB}$$

$$\therefore \quad O\text{-র সাপেক্ষে মোট টর্ক} = F\,(\vec{OA} - \vec{OB}) = F.\,\vec{AB}\,;$$

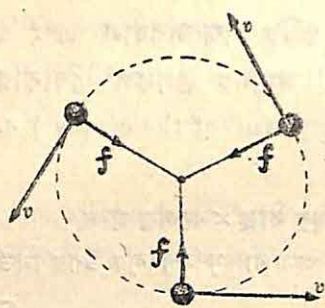
$F.\,\vec{AB}$-র মান O বিন্দুর অবস্থান নিরপেক্ষ।

দ্বন্দ্বের ভ্রামকের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক হওয়ার সংজ্ঞা বলের ভ্রামকের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক হওয়ার সংজ্ঞার সদৃশ।

4. 10 অভিকেন্দ্র ত্বরণ ও অভিকেন্দ্র বল

(Central or normal acceleration and force)

যখন কোন বস্তুকণা সমদ্রুতিতে বৃত্তপথে সঞ্চরণ করে তখন বস্তুকণাটির বেগ নিরন্তর পরিবর্তিত হয়। কেননা, বেগের মান v যদিও ঠিক থাকে, কিন্তু

বেগের দিক ক্রমাগত পাল্টে যায়। **বেগের পরিবর্তন একটি ত্বরণের অস্তিত্ব সূচিত করে**। এক্ষেত্রে, এই ত্বরণ কেবলমাত্র বেগের দিক-পরিবর্তন ঘটায়। বেগের মান অপরিবর্তিত থাকে। স্পষ্টত এই **ত্বরণ f-র অভিমুখ বেগের অভিমুখের সঙ্গে লম্ব**। কারণ, তা না হলে ত্বরণের একটি উপাংশ বেগের অভিমুখে থাকতে এবং ঐ উপাংশ বেগের মান-ও পাল্টে দিত। ত্বরণের অভিমুখ তাই সর্বদা বৃত্তপথের কেন্দ্রমুখী। এজন্য এই ত্বরণকে বলা হয় **অভিকেন্দ্র ত্বরণ**। এর মান ধ্রুবক, কিন্তু দিক ক্রমাগত পাল্টে যায়।

চিত্র 46

অভিকেন্দ্র ত্বরণের মান : ধর, সমক্রতিতে বৃত্তপথে পরিক্রমণরত বস্তুকণার কৌণিক বেগের মান ω এবং r ঐ বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ। কাজেই আনুষঙ্গিক রৈখিক বেগের মান $v = r\omega$;

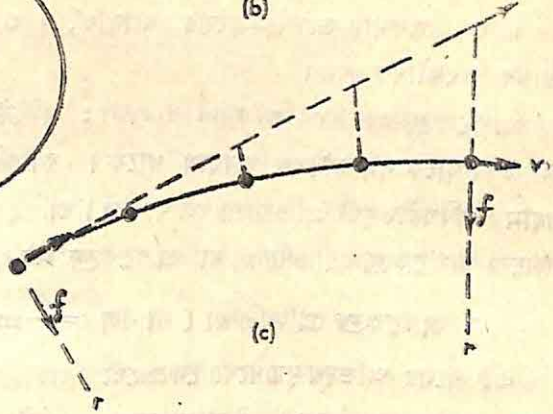
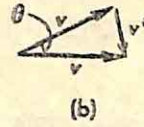
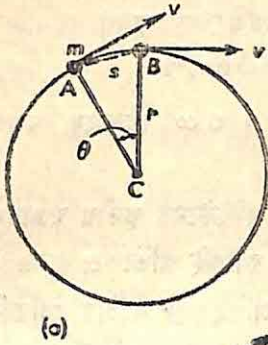
ধর, A ও B বৃত্তপথের দুটি খুব কাছাকাছি বিন্দু চিত্র 47) এবং A ও B বিন্দুতে বস্তুকণার রৈখিক বেগ যথাক্রমে $\mathbf{v}$ ও $\mathbf{v}$। স্বল্পসময়াবকাশ t-তে বস্তুকণাটি A থেকে B-তে পৌছয়। $\mathbf{v}$ ও $\mathbf{v}$-এর মান এক, পার্থক্য শুধু দিক-এ ধর, দুই বেগের দিক-পার্থক্য $= \theta$, θ একটি অত্যন্ত ছোট কোণ। 47 নং ভেকটর চিত্রে t সময়াবকাশে বেগের পরিবর্তন $\mathbf{v}'$ দেখান হয়েছে।

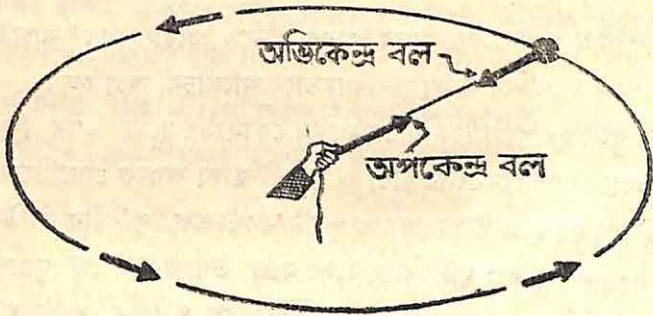
$$\therefore \quad \mathbf{v}' = \mathbf{v}.\ \theta \text{ (প্রায়) } \text{ কিন্তু } \omega = \theta/t ;$$

$$\therefore \quad \mathbf{v}' = \mathbf{v}\omega.t = \omega^2 r.\ t$$

$$\therefore \quad \frac{\mathbf{v}'}{t} = \omega^2 r = \frac{\mathbf{v}^2}{r}$$

কিন্তু v'/t হল অভিকেন্দ্র ত্বরণ f ;

$\therefore$ অভিকেন্দ্র ত্বরণ $\mathbf{f} = \omega^2 r = \mathbf{v}^2/\mathbf{r}$

চিত্র 47

অভিকেন্দ্র বল (Centripetal force) : নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে, ত্বরণযুক্ত বস্তুকণার উপর একটি নীট বল ক্রিয়াশীল থাকবে ; আর ঐ বলের মান ত্বরণের সমানুপাতী এবং দিক ত্বরণ-অভিমুখী হবে।

চিত্র 48

কাজেই **বৃত্তপথে পরিক্রমণরত বস্তুকণার উপর সর্বদা একটি বল ক্রিয়াশীল থাকে। ঐ বল বস্তুকণাতে অভিকেন্দ্র ত্বরণ উৎপন্ন করে। বলের অভিমুখ সর্বদা কেন্দ্রমুখী। একে অভিকেন্দ্র বল বলে।** এই

বল বাইরে থেকে বস্তুতে প্রযুক্ত হয়। বৃত্তপথে পরিভ্রমণরত যে কোন **বস্তুকণা এই বলের প্রভাবে বৃত্তপথ অনুসরণে বাধ্য হয়।**

∴ অভিকেন্দ্র বলের মান = ভর × অভিকেন্দ্র ত্বরণ

$$= mv^2/r = m\omega^2 r$$

m হল বস্তুকণার ভর, r = বৃত্তের ব্যাসার্ধ, v ও ω যথাক্রমে বস্তুকণার রৈখিক ও কৌণিক বেগ।

অপকেন্দ্র বল (centrifugal force) : নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুসারে, বল একা থাকে না, জুড়িবদ্ধ অবস্থায় থাকে। কাজেই অভিকেন্দ্র বলের একটি সমান ও বিপরীতমুখী প্রতিক্রিয়া বল থাকবে। **অভিকেন্দ্র বলের প্রতিক্রিয়া বলকে অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া** বা **অপকেন্দ্র বল বলা হয়।**

∴ অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া (বা বল) $= -mv^2/r - m\omega^2 r$

এই বলের অভিমুখ বৃত্তপথের কেন্দ্র থেকে বাইরের দিকে। ঋণাত্মক চিহ্নে সেকথা সূচিত করা হচ্ছে। উদাহরণস্বরূপ, একটা ঢিলকে সুতোয় বেঁধে যখন হাত দিয়ে বৃত্তপথে ঘোরানো হয় তখন আঙ্গুলে ব্যাসার্ধ বরাবর একটা বহির্মুখী টানরূপে এই প্রতিক্রিয়া বলের অস্তিত্ব অনুভব করা যায়।

4.10 অপকেন্দ্র বল একটি অলীক বল (Centrifugal force is a psuedo force)

অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বলের ধারণা নিয়ে প্রায়ই বেশ অস্পষ্টতা দেখা যায়। এই অনুচ্ছেদে ব্যাপারটি বিশদভাবে আলোচনা করা হল।

যদি বলা হয় পৃথিবীকে পরিক্রমণশীল কোন উপগ্রহের উপর কি কি বল ক্রিয়া করছে (আবহমণ্ডলের বাধা ও পৃথিবী ছাড়া অন্যান্য জ্যোতিষ্কের আকর্ষণ উপেক্ষণীয়) তা হলে উত্তর আসবে—দুটি বল ; এক, পৃথিবীর অভিকর্ষ এবং দুই, অপকেন্দ্র বল এবং দুটি বিরুদ্ধ বলের ফলে উপগ্রহটি কক্ষে ঘুরছে, নইলে অভিকর্ষে পৃথিবীতে এসে পড়তো। নিঃসন্দেহে, পৃথিবীর অভিকর্ষ উপগ্রহে ক্রিয়ারত। কিন্তু, অপকেন্দ্র বলের কথা সম্পূর্ণ ভুল ধারণা। অপকেন্দ্র বল কখন ঘূর্ণনরত বস্তুতে প্রযুক্ত হয় না, ঐ বস্তুতে প্রযুক্ত হয় অভিকেন্দ্র বল। অপকেন্দ্র বলের প্রয়োগবিন্দু বৃত্তের কেন্দ্রে—কেন্দ্র থেকে বহির্মুখী।

তবে কি শুধু অভিকর্ষই উপগ্রহের উপর ক্রিয়াশীল ? ঠিক তাই। তবে

উপগ্রহটি পড়ছে না কেন? পড়ছে বৈকি। অভিকর্ষাধীন বস্তুমাত্রেই 'পড়ন্ত'। এক্ষেত্রে বস্তুর পতন পৃথিবীর চারপাশে 'বৃত্তপথে' ফলে অনির্দিষ্ট কাল ধরে এই পতন চলতে পারে। (সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান অংশে 'ভারশূন্যতা' অনুচ্ছেদ দেখ)।

তবে উপগ্রহের গতি আলোচনায়, $G\frac{mM}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$

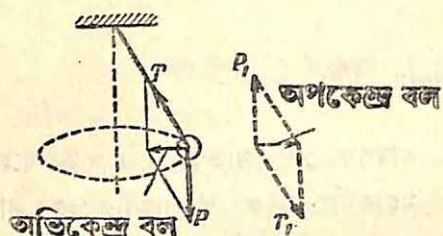
সমীকরণ লেখা হয় কেন? এর বামপক্ষ তো অভিকর্ষ (m=উপগ্রহের ভর, r=কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, G= মহাকর্ষীয় ধ্রুবক, M পৃথিবীর ভর) আর দক্ষিণপক্ষ অপকেন্দ্র বল (v=উপগ্রহের বেগ)। সমীকরণটি কি ভুল?

সমীকরণ নয়, ব্যাখ্যাটি ভুল। এটি দুই বলের সাম্যাবস্থার সমীকরণ নয়। নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র মাত্র $P=mf$

এখানে $P=G\frac{Mm}{r^2}$ এবং f হল অভিকেন্দ্র ত্বরণ v^2/r; তবে কি সমীকরণের বামপক্ষ অভিকর্ষ বল এবং ডানপক্ষ অভিকেন্দ্র বল? তা হলেও তো উপগ্রহে দুটি বল ক্রিয়াশীল থাকছে। না, তা নয়। বল একটি—অভিকর্ষ বল এবং এই বিশেষ ক্ষেত্রে অভিকর্ষ কেন্দ্রমুখী বলে একে 'অভিকেন্দ্র বল' নামে অভিহিত করা হচ্ছে। এই নামকরণটাই বিভ্রান্তিকর। এ থেকে মনে হয়, এটি যেন একটা নতুন ধরনের বল। আদপেই তা নয়। বৃত্তীয় গতির ক্ষেত্রে এই নাম দেওয়া হয় মাত্র। mv^2/r কোন বল নয়—বস্তুর ভর m এবং ত্বরণ (অভিকেন্দ্র ত্বরণ) v^2/r-এর গুণফল মাত্র।

প্রশ্ন উঠতে পারে, যদি অভিকেন্দ্র বলের বিশেষ ধারণাই ছেড়ে দেওয়া হয় তবে অপকেন্দ্র বলের ধারণাও স্বাভাবিকভাবে পরিত্যক্ত হয়।

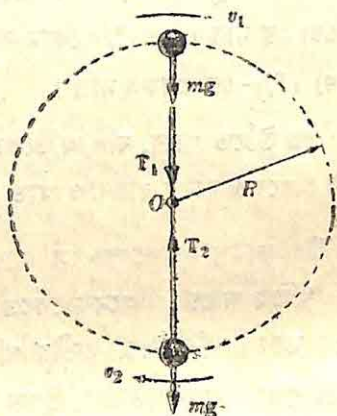
ঠিক তাই। অপকেন্দ্র বল আরও বেশি বিভ্রান্তিকর। অভিকেন্দ্র বলের তবু অস্তিত্ব আছে। অনেক ক্ষেত্রে অপকেন্দ্র বলের কোন অস্তিত্বই থাকে না। তবে কি নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্র ভুল? তা নয়। মনে রাখতে হবে, বিভিন্ন বস্তুর ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া উদ্ভূত বলের ক্ষেত্রেই তৃতীয় সূত্র সত্য; ঐ সব বলের লব্ধির ক্ষেত্রে নয়। শঙ্কু দোলকের (conical pendulum) উদাহরণ নেওয়া যাক। দোলকের উপর দুটি বল ক্রিয়ারতঃ এক, দোলকের ওজন P এবং

সুতোর টান T ; এই দুই বলের লব্ধি দোলকটিকে অভিকেন্দ্র ত্বরণ জুগিয়ে বৃত্তপথে ঘোরায় এবং ঐ লব্ধিই অভিকেন্দ্র বল। দোলকের উপর পৃথিবীর অভিকর্ষ P বলের কারণ। এর প্রতিক্রিয়া বল P_1 পৃথিবীর উপর প্রযুক্ত। দোলকের উপর সুতোর টান-ই হল T বলের কারণ। এর প্রতিক্রিয়া বল T_1 সুতোতে প্রযুক্ত। P_1 ও T_1 বলের লব্ধি যদি নির্ণয় করা যেত তা হলে প্রথামতো তা-ই হত (চিত্রের ভাঙা লাইন) অপকেন্দ্র বল। কিন্তু ঐ অপকেন্দ্র বল কার উপর প্রযুক্ত হত? যে বলের এক উপাংশ পৃথিবীতে, অন্য উপাংশ একটি ভিন্ন বস্তু সুতোতে প্রযুক্ত তাকে 'বল' আখ্যা দেওয়া কি সঙ্গত? আলোচ্য ক্ষেত্রে 'অপকেন্দ্র বলের' কোন বাস্তব সত্তা নেই। এই সব কারণে **অপকেন্দ্র বলকে অলীক বল** বলা হয়।

অভিকেন্দ্র বল অপকেন্দ্র বল

চিত্র 49

4. 11 উল্লম্ব বৃত্তপথে ঢিলের গতি
(Motion of a stone in a vertical circle)

ধর, m-ভরের একটা ঢিলকে সুতোয় বেঁধে r ব্যাসার্ধযুক্ত উল্লম্ব বৃত্তপথে (বৃত্তের কেন্দ্রর) ঘোরানো হচ্ছে। দ্রুতি পর্যাপ্ত হলে, অভিকর্ষ সত্ত্বেও ঢিলটি সর্বোচ্চ বিন্দু অবস্থানেও পড়বে না। কেন?

ধর, সর্বোচ্চ বিন্দুতে ঢিলের দ্রুতি v_1; এক্ষেত্রে সুতোর টান T_1 এবং ওজন mg (g = অভিকর্ষজ ত্বরণ) মিলে ঢিলটিকে প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল mv_1^2/r জোগায়।

চিত্র 50

$$\therefore \quad T_1 + mg = \frac{mv_1^2}{R}$$

$$\text{বা} \quad T_1 = \frac{mv_1^2}{R} - mg$$

কাজেই, যতক্ষণ $mv_1^2/R > mg$, ততক্ষণ A বিন্দুতেও ঢিলটি বৃত্তপথে থাকবে এবং OA অবস্থানেও সুতো ঢিলে হবে না। অন্যথায় সুতো ঢিলে হবে, ঢিলটি সর্বোচ্চ বিন্দু A-তে পৌঁছতে পারবে না। অর্থাৎ A বিন্দুতেও বৃত্তপথে থাকতে ঢিলের দ্রুতি v_1-কে একটি সংকট মান v_c অপেক্ষা বড় হতে হবে এবং ঐ সংকট মানের নিয়ামক সমীকরণ হল:

$$\frac{mv_1^2}{R} = mg \text{ বা, } v_1 = \sqrt{Rg} = v_c$$

বৃত্তপথের সর্বনিম্ন বিন্দু B-তে কিন্তু সুতোর টান T_2-কে ঢিলের ওজন সাম্যে রেখে প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল জোগাতে হবে। অতএব B বিন্দুতে

$$T_2 - mg = \frac{mv_2^2}{R}$$

$v_2 = B$ বিন্দুতে ঢিলের দ্রুতি।

লক্ষ্য কর: ঢিলের দ্রুতিকে A ও C বিন্দুতে যথাক্রমে v_1, v_2 ধরা হয়েছে; কেননা, ঐ দুই দ্রুতি সমান নয়। এই কারণেই $v > \sqrt{Rg}$ হলে, জলভর্তি একটি বালতিকে উল্লম্ব বৃত্তপথে ঘোরালেও জল পড়ে না।

সার্কাসে মোটর-সাইকেল আরোহী ঠিক একই পদ্ধতিতে উল্লম্বতলে বৃত্তপথে সাইকেল চালিয়ে বিস্ময় উৎপন্ন করেন।

4. 12 অভিকেন্দ্র বল ও তার প্রতিক্রিয়ার দৃষ্টান্ত

(Examples of centripetal force and its reaction)

অভিকেন্দ্র বল ও তার প্রতিক্রিয়ার বহু দৃষ্টান্ত দৈনন্দিন জীবনে লক্ষ্য করা যায়। আমরা এখানে কয়েকটি উদাহরণ দিলাম।

(i) বর্ষাকালে চলন্ত সাইকেল বা গাড়ির চাকা থেকে কাদা ছিটকে যেতে দেখা যায়।

(ii) সাইকেল আরোহী বাঁক ঘুরতে দেহের ভারসাম্য রাখার জন্য কেন্দ্রের দিকে ঝুঁকে থাকে। নচেৎ আরোহীর বাইরের দিকে পড়ে যাওয়ার বিশেষ সম্ভাবনা থাকে।

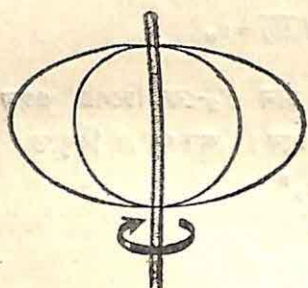
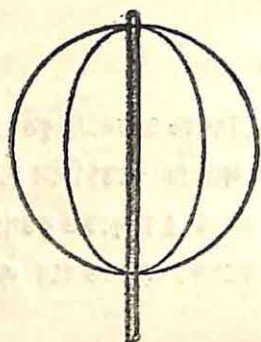
(iii) রেল লাইনের বাঁকের ক্ষেত্রে গাড়ির দ্রুতগতি থেকে উদ্ভূত অভিকেন্দ্র

বলের প্রতিক্রিয়া গাড়িকে ফেলে দেওয়ার চেষ্টা করে। এজন্য বাঁকের মুখে বাইরের রেলটিকে কিছু উঁচু করে পাতা হয়। ভিতরের রেল কিছুটা নিচু থাকে।

(iv) এই অভিকেন্দ্র বল ও তার প্রতিক্রিয়ার জন্যই আমাদের পৃথিবী ও বিভিন্ন গ্রহগুলি উত্তর-দক্ষিণে কিছুটা চাপা এবং পূর্ব-পশ্চিমে কিছুটা স্ফীতকায়।

(v) মাখন তোলার জন্য দুধকে একটি পাত্র রেখে জোরে ঘোরানো হয়। অপকেন্দ্র বলের জন্য মাখন দুধ থেকে পৃথক হয়ে যায়। এই জাতীয় ব্যবস্থাকে **সেন্ট্রিফিউজ** (Centrifuge) বলে। আজকাল উন্নত ধরনের

চিত্র 51

চিত্র 52

সেন্ট্রিফিউজ ব্যবস্থা ভাসমান সূক্ষ্ম দানাদার পদার্থকে থিতানো ও পৃথকীকরণের কাজে ব্যবহার করা হচ্ছে।

এ ছাড়া, সেন্ট্রিফুগাল পাম্প, সেন্ট্রিফুগাল ড্রাইং মেসিন, ইঞ্জিনের বেগকে স্বয়ংক্রিয়ভাবে নিয়ন্ত্রণ করার উদ্দেশ্যে কনিক্যাল গভর্ণর ইত্যাদি নানা ব্যবস্থায় অভিকেন্দ্র বল ও তার প্রতিক্রিয়াকে কাজে লাগানো হচ্ছে।

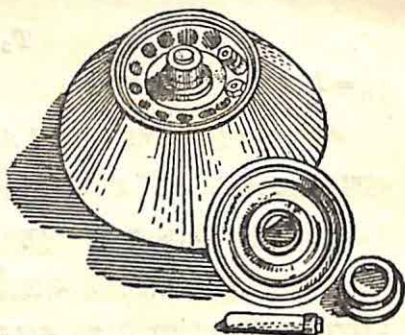
4. 13 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. 0·90 মিটার ব্যাসার্ধের একটি ফ্লাইহুইল মিনিটে 1200 বার ঘুরছে। ফ্লাইহুইলের রিমের উপরের কোন বিন্দুর ত্বরণ কত?

1200 আবর্তন/মিনিট = 20 আবর্তন/সেকেণ্ড

$= 20 \times 2\pi$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড

$\therefore$ এখানে $\omega = 40\pi$; $2r = 0{\cdot}90$ মিটার বা $r = 90/2 = 45$ সেমি.

$\therefore$ ত্বরণ $= \omega^2 r = 40^2 . \pi^2 . 45 =$ **710640** সেমি./সেকেণ্ড^2

উদা. 2. 15 সেমি ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে একটি বস্তুকণা **30** সেমি./সেকেণ্ড রৈখিক বেগে সঞ্চরণশীল। ঐ বস্তুকণার কৌণিক বেগ এবং আবর্তনকাল কত?

এখানে $r=15$ সেমি, $v=30$ সেমি./সেকেণ্ড

$\therefore$ কৌণিক বেগ $\omega=v/r=30/15=\mathbf{2}$ **রেডিয়ান/সে.**

আবর্তন কাল $T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi}{2}=\pi$ **সেকেণ্ড**

উদা. 3. সুতোয় বাঁধা একটি ঢিলকে সমদ্রুতিতে অনুভূমিক তলে ঘোরানো হচ্ছে। বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ 4 ফুট এবং ঢিলের দ্রুতি 10 ফুট/সেকেণ্ড হলে অভিকেন্দ্র ত্বরণ নির্ণয় কর। **(ক. বিঃ 1956)**

এখানে $r=4$ ফুট। $v=10$ ফুট/সেকেণ্ড

$\therefore$ অভিকেন্দ্র ত্বরণ $=v^2/r=\frac{10\times10}{4}=\mathbf{25}$ **ফুট/সেকেণ্ড²**

উদা. 4. ডিস্ক-আকৃতি একটি ফ্লাইহুইল 8 রেডিয়ান/সেকেণ্ড² কৌণিক ত্বরণে ঘুরছে। ফ্লাইহুইলের উপর ক্রিয়াশীল টর্কের মান 250 পাউণ্ড. ফুট হলে ফ্লাইহুইলের জাড্য ভ্রামক নির্ণয় কর।

এখানে কৌণিক ত্বরণ $\alpha=8$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড²

ক্রিয়াশীল টর্ক $\Gamma=250$ পাউণ্ড. ফুট

$\therefore$ $\Gamma=I\alpha$ সূত্র থেকে নির্ণেয় জাড্য ভ্রামক $I=\Gamma/\alpha$

$\therefore$ জাড্য ভ্রামক $=250/8=\mathbf{81{\cdot}25}$ **পাউণ্ড ফুট²**

উদা. 5. পৃথিবীকে যদি এতো দ্রুত ঘুরানো হয় যে, ভূ-পৃষ্ঠে বিষুবরেখায় বস্তুর আপাত ওজন শূন্য তবে পৃথিবীর কৌণিক বেগ এবং দিনের দৈর্ঘ্য কত হবে? **(কঃ বিঃ 1942)**

যখন অপকেন্দ্রিক বল = বস্তুর ওজন, তখন বস্তুটি আপাত ওজনশূন্য হবে।

$\therefore$ প্রয়োজনীয় শর্তানুসারে, $\frac{mv^2}{r}=mg$

(m = বস্তুর ভর, v = বস্তুর রৈখিক বেগ, r = বস্তু যে বৃত্তপথে সঞ্চরণশীল তার ব্যাসার্ধ, g = অভিকর্ষ ত্বরণ)

$\therefore$ $v^2=rg$ বা $r^2\omega^2=rg$

($\because$ $v=r\omega$, ω = কৌণিক বেগ)

$\therefore$ $\omega=\sqrt{g/r}=\sqrt{980/6400\times10^5}$

(এখানে r = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ = 6400 কিমি = 6400×10^5 সেমি)

$\therefore$ ω = **0·00123 রেডিয়ান/সেকেণ্ড**

$\therefore$ দিনের দৈর্ঘ্য $= \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2 \times 3.14}{0.00123}$ সেকেণ্ড = **1 42 ঘণ্টা**

অনুশীলনী

1. বস্তুকণার ঘূর্ণন গতি বলতে কি বোঝ? এই গতিতে বস্তুকণার সঞ্চারপথ কিরূপ?

2. নিম্নলিখিত বিষয়গুলোর সংজ্ঞা লেখ:
কৌণিক বেগ, কৌণিক ত্বরণ, কৌণিক ভরবেগ, জাড্য ভ্রামক, ভরবেগের ভ্রামক।

3. কৌণিক বেগ ও রৈখিক বেগের সম্পর্ক সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ কর।

4. কৌণিক ভরবেগকে রৈখিক ভরবেগের ভ্রামকও বলা হয়—কেন?

5. দেখাও যে, কৌণিক ভরবেগ = জাড্য ভ্রামক × কৌণিক বেগ।

6. দেখাও যে, সরলরৈখিক গতিতে ভরের যে ভূমিকা ঘূর্ণন গতিতে জাড্য ভ্রামকের সেই ভূমিকা।

7. বলের ভ্রামক বলতে কি বোঝ? ভ্রামক কি স্কেলার রাশি? এর অভিমুখ কিভাবে নির্ধারিত হয়?

8. টর্ক কাকে বলে? কোন অক্ষের সাপেক্ষে টর্ক শূন্য হলে এ থেকে কি সিদ্ধান্ত করবে?

9. টর্ক ও কৌণিক ভরবেগের মধ্যে কি সম্পর্ক?

10. ঘূর্ণন গতিতে নিউটনের সূত্রগুলি কী রূপ নেবে? সূত্রগুলি উল্লেখ করে উত্তর দাও।

11. একটি ছকের আকারে ঘূর্ণন ও রৈখিক গতির সাদৃশ্য দেখাও।

12. সমান্তরাল বল কাকে বলে? সমান্তরাল বল কয় প্রকার এবং কি কি? সমান্তরাল বলের লব্ধি কিরূপে নির্ণীত হয়?

13. দ্বন্দ্ব বলতে কি বোঝ? দ্বন্দ্বের টর্ক (বা ভ্রামক) ও দ্বন্দ্বের বাহু কাকে বলে? প্রাত্যহিক জীবনে দ্বন্দ্বের কয়েকটি প্রয়োগের উল্লেখ কর।

14. দেখাও যে, দ্বন্দ্বের টর্কের মান ঘূর্ণন অক্ষ বা ঘূর্ণন বিন্দুর উপর নির্ভর করে না। এটি একটি ধ্রুবক।

15. অভিকেন্দ্র ত্বরণ কি—ব্যাখ্যা কর। এই ত্বরণের অভিমুখ কিরূপ হবে? তোমার উত্তরের পক্ষে যুক্তি কি?

16. গাণিতিক বিবেচনায় অভিকেন্দ্র ত্বরণের মান নির্ণয় কর।

17. অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বল বলতে কি বোঝ? এদের মান কত? ঐ দুই বল কি বস্তুকে সাম্যাবস্থায় রাখে? ব্যাখ্যা কর।

18. প্রমাণ কর যে, অপকেন্দ্র বল একটি অলীক বল (psuedo-force)।

19. m-ভরের একটি বস্তুকণাকে l-দৈর্ঘ্যের একটি সুতোয় বেঁধে উল্লম্ব বৃত্তপথে ঘোরানো হচ্ছে। দেখাও যে, বস্তুকণার দ্রুতি সর্বদা সমান নয় এবং দ্রুতির সর্বনিম্ন মান $\sqrt{gl}$।

20. একটি ফ্লাইহুইল কোন অক্ষের চারপাশে মিনিটে 150 বার আবর্তিত হচ্ছে। ফ্লাইহুইলের যে কোন বিন্দুর কৌণিক বেগ নির্ণয় কর। হুইলের ব্যাসার্ধ $3\frac{1}{2}$ ফুট হলে, তার রৈখিক বেগ কত?

21. একটি অটোমোবিল ঘণ্টায় 60 মাইল বেগে 40 গজ ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণ করছে। অটোমোবিলের ত্বরণ কত?
(**কঃ বিঃ 1958**) [64·5 ফু/সে²]

22. একটি সেন্ট্রিফিউজ সেকেণ্ডে 3000 বার আবর্তন করে। ওর ব্যাস 6 সেমি. হলে উদ্ভূত অপকেন্দ্র বলের সঙ্গে অভিকর্ষ বলের তুলনা কর।
(**গৌহাটি, 1956**) [$(2\pi \times 3000)^2$]

23. একটি এরোপ্লেন 300 গজ ব্যাসার্ধের একটা অনুভূমিক বৃত্তপথে চক্কর দিচ্ছে। এরোপ্লেনের কেন্দ্রাভিমুখী ত্বরণের মান 144 ফুট/সেকেণ্ড²। এরোপ্লেনের বেগ (দ্রুতি) নির্ণয় কর। [360 ফু/সেকেণ্ড]

24. ঘণ্টায় 60 মাইল বেগে ধাবমান একটি ট্রেন 484 ফুট ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তপথ অতিক্রম করছে। ট্রেনের ত্বরণ কত? [16 ফু/সেকেণ্ড²]

25. 1 পাউণ্ড ভরের একটি ঢিল 4 ফুট দৈর্ঘ্যের সুতোয় বেঁধে বৃত্তপথে ঘোরানো হচ্ছে এবং প্রতি পূর্ণ আবর্তন করতে $\frac{1}{2}$ সেকেণ্ড সময় নিচ্ছে। সুতোয় টানের পরিমাণ কত? [631·7 পাউণ্ড]

26. $\frac{1}{2}$ পাউণ্ড-ভারের একটি বস্তুকে 2 ফুট লম্বা সুতোয় বেঁধে অনুভূমিক বৃত্তপথে ঘোরানো হচ্ছে। সুতোটি 112·5 পাউণ্ড ভারে ছিঁড়ে যায়। সর্বোচ্চ কত বেগে বস্তুটিকে ঘুরানো সম্ভব? (**বোম্বাই**) [21·4 ফু/সে.]

27. পৃথিবীকে যদি এমন দ্রুত আবর্তন করানো যায় যে, বিষুবরেখায় বস্তুর আপাত ওজন শূন্যে দাঁড়ায়, তবে পৃথিবীর বেগ এবং দিনের স্থায়িত্বকাল কত হবে নির্ণয় কর। (**কঃ বিঃ 1942**) [0·0012 রেডি/সেকেণ্ড, 1·42 ঘণ্টা]

5
পঞ্চম অধ্যায়

স্থিতিবিদ্যা (Statics)

5.1 স্থিরাবস্থা ও সাম্যাবস্থা (Rest and equilibrium)

কোন বস্তুকণার **স্থিরাবস্থা** বলতে বোঝায় যে, ঐ বস্তুকণার রৈখিক বা কৌণিক কোন প্রকার বেগ নেই। আর, কোন বস্তুকণার **সাম্যাবস্থা** বলতে বোঝায় ঐ বস্তুকণার রৈখিক বা কৌণিক কোনরূপ ত্বরণ নেই।

সাম্যাবস্থায় না থেকেও কোন বস্তু স্থির থাকতে পারে। আবার, কোন বস্তু স্থির না থেকেও সাম্যাবস্থায় থাকতে পারে। যখন কোন সরল দোলক তার বিস্তারের প্রান্ত বিন্দুতে থাকে সেই মুহূর্তে দোলকটি স্থির, কিন্তু সাম্যাবস্থায় নেই। তেমনি, উল্লম্বভাবে উর্ধ্বে উৎক্ষিপ্ত কোন বস্তু যখন চরম উচ্চতায় পৌঁছে তখন সে স্থির, কিন্তু সাম্যাবস্থায় নয়। দুই ক্ষেত্রেই বেগ শূন্য, কিন্তু ত্বরণ শূন্য নয়। বিপরীত পক্ষে, যখন সরল দোলক তার গতিপথের মধ্য বিন্দু দিয়ে যায় সেই মুহূর্তে তার ত্বরণ নেই, কিন্তু বেগ আছে। অর্থাৎ দোলকপিণ্ড সাম্যাবস্থায়, কিন্তু স্থির নয়।

5.2 সাম্যাবস্থার প্রথম শর্ত (First condition of equilibrium)

যেহেতু কোন বস্তুর উপর বল ক্রিয়াশীল হলে ত্বরণ উৎপন্ন হয়, সেহেতু বস্তুকে ত্বরণশূন্য বা সাম্য অবস্থায় আনার শর্ত হল বস্তুর উপর কোন নীট বল সক্রিয় থাকবে না। এই হল **সাম্যাবস্থার প্রথম শর্ত**। বল একটি ভেক্টর রাশি। কাজেই শর্তটিকে নিম্নোক্তভাবেও প্রকাশ করা যায়:

কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল সমূহের ভেক্টরীয় যোগফল শূন্য হলে বস্তুটি সাম্যে থাকবে। এই শর্ত পূরণ হলে বস্তুর **সরণ** গতি ত্বরণশূন্য হবে। গাণিতিক ভাষায়, $\Sigma F = 0$

F হল বল ভেক্টর, আর সমষ্টিচিহ্ন Σ সবগুলো ভেক্টরের উপরই প্রযুক্ত।

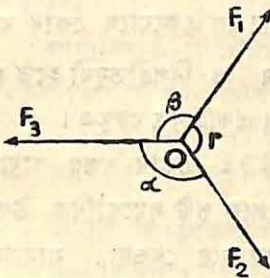
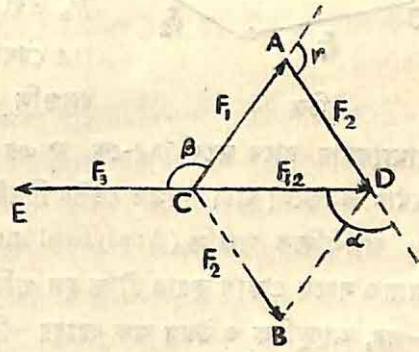
যেহেতু ভেক্টর সংযোজনের কাজ বহুভুজ পদ্ধতিতে করা হয়, সেহেতু শর্তটির অর্থ: **বল-ভেক্টরগুলোর দ্বারা উৎপন্ন বহুভুজটি একটি বদ্ধ বহুভুজ** (closed polygon) **হবে।**

উপরের শর্ত থেকে সহজেই বোঝা যায় যে :

(i) যখন **দুটি বলের অধীন** কোন বস্তু সাম্যাবস্থায় থাকে তখন বল দুটি অবশ্যই সমান ও বিপরীতমুখী (এবং সমরৈখিক) হবে।

(ii) **তিনটি বলের অধীন** কোন বস্তুর সাম্যাবস্থার ক্ষেত্রে যে কোন দুটির লব্ধি তৃতীয়টির সমান ও বিপরীতমুখী হবে। যেহেতু দুটি বলের লব্ধি তার উপাংশদ্বয়ের ক্রিয়ারেখার ছেদ বিন্দু দিয়ে যায় এবং উপাংশদ্বয়ের সমতলে অবস্থান করে সেহেতু তিনটি বল-ই সমবিন্দু (concurrent) এবং সামতলিক (coplanar)।

বলের ত্রিভুজ সূত্র (Triangle of forces) : উপরের আলোচনা থেকে, স্পষ্টত কোন ত্রিভুজের তিনটি বাহুদ্বারা (পর্যায়ক্রমিকভাবে) তিনটি অ-সমান্তরাল কিন্তু সাম্যাবস্থার বলকে মান ও অভিমুখের দিক থেকে প্রকাশ করা যায়। একে বলের **ত্রিভুজ সূত্র** বলে।

লামির উপপাদ্য (Lami's theorem) : ত্রিভুজের ধর্মানুসারে, যে কোন দুই বাহুর অনুপাত তাদের বিপরীত কোণের সাইনের অনুপাতের সমান।

চিত্র 53

চিত্র 54

$$\therefore \text{ চিত্রানুযায়ী, } \frac{F_1}{F_2} = \frac{\sin(180-\alpha)}{\sin(180-\beta)} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$$

এ থেকে সহজেই বোঝা যায় যে,

$$F_1 : F_2 : F_3 = \sin\alpha : \sin\beta : \sin\gamma$$

$$\text{বা, } \frac{F_1}{\sin\alpha} = \frac{F_2}{\sin\beta} = \frac{F_3}{\sin\gamma}$$

এই হল **লামির উপপাদ্যের** গাণিতিক রূপ। ভাষায় বলতে গেলে :

যদি তিনটি বলের অধীন হয়ে কোন বস্তু সাম্যাবস্থায় থাকে তবে প্রতিটি বল অন্য দুটি বলের মধ্যবর্তী কোণের সাইনের সমানুপাতী।

কাজেই জানা গেল যে, তিনটি অ-সমান্তরাল বলের অধীনে কোন বস্তুর সাম্যাবস্থার ক্ষেত্রে

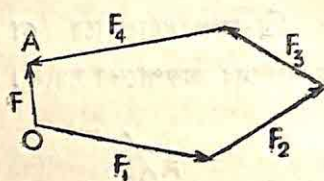
(i) বলগুলিকে একই **সামতলিক** হতে হবে।

(ii) বলগুলি **সমবিন্দু** হওয়া চাই, আর

(iii) বল-ভেক্টর সৃষ্ট বহুভুজটি **বদ্ধ ত্রিভুজ** (closed triangle) হবে অর্থাৎ **লামির উপপাদ্য** মানতে হবে।

5.3 যে কোন সংখ্যক সামতলিক বলের সাম্যাবস্থা

(Equilibrium of any number of coplanar forces)

যে কোন সংখ্যক সামতলিক বলের সাম্যাবস্থার শর্ত হল : একটি ছাড়া অন্য সবগুলো বলের লব্ধি ঐ-বলের সমান ও বিপরীতমুখী হবে। পাশের চিত্রে F^1 F_2, F_3 এবং F_4 এর লব্ধি বলের মান ও অভিমুখ OA রেখা দ্বারা প্রকাশিত হচ্ছে। যদি ঐ বলগুলি এবং F বল একযোগে কোন বস্তুকে সাম্যাবস্থায় রাখে তবে OA-কে F এর সমান ও বিপরীতমুখী হতে হবে। অর্থাৎ, বলগুলো দ্বারা অঙ্কিত ভেক্টর চিত্রটি হবে একটি বদ্ধ বহুভুজ।

চিত্র 55

গাণিতিক পদ্ধতি (Analytical method) : কোন বস্তুর সাম্যাবস্থা আরও সহজে প্রকাশ করার রীতি হল প্রতিটি বলকে দুটি সমকৌণিক উপাংশে —ধর, অনুভূমিক ও উল্লম্ব অক্ষ বরাবর—বিভাজন করে নেওয়া। সাম্যাবস্থায় কোন বস্তুর না থাকবে কোন অনুভূমিক ত্বরণ, না থাকবে উল্লম্ব ত্বরণ। ধর, F-বলের অনুভূমিক উপাংশ F_x এবং উল্লম্ব উপাংশ F_y ; তা হলে গাণিতিক ভাষায় সাম্যাবস্থার প্রথম শর্ত নিম্নোক্তভাবে প্রকাশ করা যায় :

$$\Sigma F_x = 0 \quad \text{এবং} \quad \Sigma F_y = 0$$

Σ -সমস্ত বলগুলির উপরই প্রযোজ্য।

ধর, F_1, F_2, F_3,...বলের সঙ্গে অনুভূমিক দিকের নতি হল যথাক্রমে $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \ldots$

$$\therefore \quad \Sigma F_x = F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 + F_3 \cos \alpha_3 + \ldots = 0$$

$$\text{এবং} \quad \Sigma F_y = F_1 \sin \alpha_1 + F_2 \sin \alpha_2 + F_3 \sin \alpha_3 + \ldots = 0$$

5.4 সাম্যাবস্থার দ্বিতীয় শর্ত (Second condition of equilibrium)

কোন বস্তুতে প্রযুক্ত বলগুলি যদি সাম্যাবস্থার প্রথম শর্ত পূরণ করে তবে বস্তুটির কোনরূপ রৈখিক ত্বরণ থাকবে না। কিন্তু ঐ শর্ত বস্তুর কৌণিক ত্বরণ বন্ধ করতে পারে না। বস্তুটির উপর তখনও দুটি সমান, বিপরীত কিন্তু অসমরৈখিক বল ক্রিয়াশীল থেকে একটি দ্বন্দ্ব সংগঠনের দ্বারা বস্তুটিতে ঘূর্ণন সৃষ্টি করে কৌণিক ত্বরণ উৎপন্ন করতে পারে।

দ্বন্দ্বের অধীনে কোন বস্তুর কৌণিক ত্বরণ বন্ধ করতে বস্তুটিতে প্রথমোক্ত দ্বন্দ্বের সমান ও বিপরীত টর্কযুক্ত দ্বিতীয় একটি দ্বন্দ্ব প্রযুক্ত হওয়া প্রয়োজন। এজন্য ঘূর্ণনগত সাম্যাবস্থার জন্য আর একটি শর্ত পূরণ হওয়া প্রয়োজন। একে বলে **সাম্যাবস্থার দ্বিতীয় শর্ত**। শর্তটি হল : **কোন বস্তুতে প্রযুক্ত নীট টর্কের পরিমাণ শূন্য হওয়া চাই**। এর অর্থ, কোন অক্ষের সাপেক্ষে মোট বামাবর্তী টর্কের মান মোট দক্ষিণাবর্তী টর্কের সমান হবে।

গাণিতিক ভাষায় : $\Sigma \Gamma = 0$

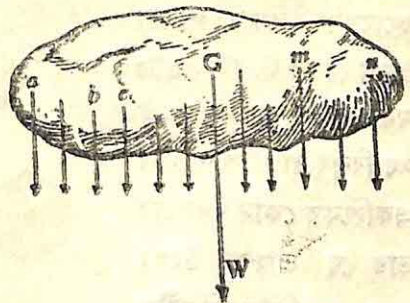
Γ হল টর্ক—একটি ভেক্টর। যদি বলগুলি একই সামতলিক হয় তা হলে ঐ সমতলের কোন বিন্দুর সাপেক্ষে বলগুলির ভ্রামকের বীজগাণিতিক যোগফলও শূন্য হবে।

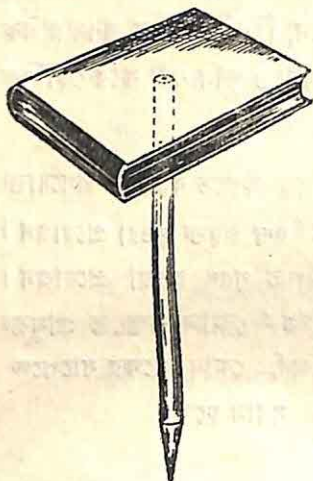
সাম্যাবস্থায় ক্রিয়াশীল বলগুলো যদি সমবিন্দু না হয়, সাম্যের উভয় শর্তই পূরণ করতে হবে। অর্থাৎ তখন বলগুলো নিম্নোক্ত শর্ত দুটি পূরণ করবে :

$\Sigma F = 0$ (সরণ গতি সংক্রান্ত সাম্য)

$\Sigma \Gamma = 0$ (ঘূর্ণন গতি সংক্রান্ত সাম্য)

5.5 ভারকেন্দ্র (Centre of gravity)

আকার যাই হোক না কেন, যে কোন বস্তুকে, অসংখ্য বস্তুকণার সমবায় বলে মনে করা চলে। প্রতিটি বস্তু কণার রয়েছে নির্দিষ্ট ভর। অভিকর্ষের ফলে বস্তু কণাগুলো ভূ-কেন্দ্রের দিকে ভরের সমানুপাতী বলে আকৃষ্ট হয়। এই অভিকর্ষ বলগুলো পরস্পর সমান্তরাল। কেননা, পৃথিবী বিরাট ব্যাসার্ধযুক্ত একটি গোলক। কাজেই কোন বস্তুর ভার হল ঐ বস্তু যে সব বস্তুকণায় গড়া

চিত্র 56

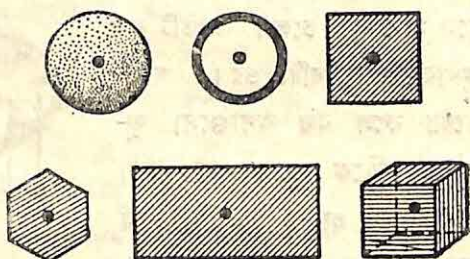
তাদের উপর প্রযুক্ত সমমুখী সমান্তরাল বলগুচ্ছের সামিল। এই সমমুখী সমান্তরাল বলগুচ্ছের লব্ধি, বস্তুর যে কোন অবস্থানে, সর্বদা একটি নির্দিষ্ট বিন্দু G দিয়ে যায়। ঐ বিন্দুকে ঐ বস্তুর **ভারকেন্দ্র** (C. G.) বলে।

বস্তুর ওজন যদিও বস্তুর সর্বত্র প্রযুক্ত সমমুখী এক গুচ্ছ সমান্তরাল বল, তথাপি বস্তুর ওজনকে ভারকেন্দ্রে প্রযুক্ত নিম্নমুখী একটি লব্ধি বলের দ্বারা প্রকাশ করা যায়। কাজেই সংক্ষেপে বলা যায় : **কোন বস্তুর ভার কার্যত যে বিন্দুতে ক্রিয়াশীল তা-ই ভারকেন্দ্র।** এই কারণে কোন বস্তুকে ভারকেন্দ্রে স্থাপন করলে (অবলম্বনের সাহায্যে) শুধু অভিকর্ষ বলের জন্য কোনরূপ ঘূর্ণন প্রবণতা দেখায় না। কিন্তু ভারকেন্দ্র ছাড়া অন্য বিন্দুতে স্থাপন করলে অভিকর্ষ বলের প্রভাবে ঘুরে যায়। এভাবে, পরীক্ষার সাহায্যে কোন বস্তুর ভারকেন্দ্র মোটামুটি নির্ণয় করা যায়। একটি বইকে পেন্সিলের মাথায় স্থাপন করে পরীক্ষামূলকভাবে ওর ভারকেন্দ্র বের করার চেষ্টা কর।

চিত্র 57

মনে রেখ : বস্তুর ভারকেন্দ্রের অবস্থান বস্তুটির অবস্থান নিরপেক্ষ। অর্থাৎ বস্তুর যে কোন অবস্থানে ভারকেন্দ্রের অবস্থান অপরিবর্তিত থাকে।

5.6 কয়েকটি সুষম বস্তুর ভারকেন্দ্র

(C. G. of bodies of geometric shapes)

পর্যবেক্ষণের সাহায্যে বস্তুর ভারকেন্দ্র নির্ণয় করা যায় একথা আগে বলা হয়েছে। একটি পাতলা সুষম দণ্ডের C. G. দণ্ডটির মধ্যবিন্দু। কেননা, এই মধ্যবিন্দুর সাপেক্ষে দণ্ডটির একদিকের কোন বস্তুকণার ভার যে ভ্রামক উৎপন্ন করে, মধ্যবিন্দুর বিপরীত দিকে অনুরূপ অবস্থানের আর একটি বস্তুকণার ভার মধ্যবিন্দুর সাপেক্ষে তার

চিত্র 58

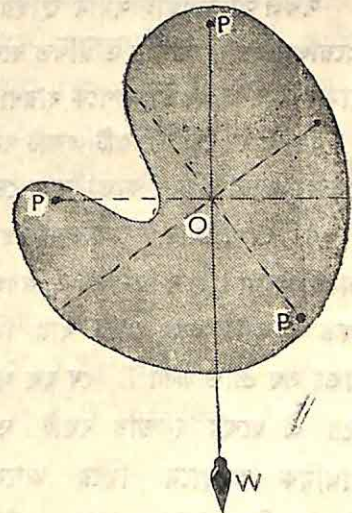
সমান ও বিপরীত ভ্রামক উৎপন্ন করে, ফলে মধ্যবিন্দুর সাপেক্ষে নীট টর্ক শূন্য এবং দণ্ডটি সাম্যাবস্থায় থাকে। কাজেই, মধ্যবিন্দু-ই নির্ণেয় ভারকেন্দ্র।

তালিকা 5. 1 : সুষম জ্যামিতিক আকৃতিযুক্ত বস্তুর ভারকেন্দ্র

বস্তু	ভারকেন্দ্রের অবস্থান
1. বৃত্তাকার পাত	বৃত্তের কেন্দ্র
2. গোলাকার আংটি	আংটির কেন্দ্র
3. ত্রিভুজাকৃতি পাত	মধ্যমাত্রয়ের ছেদবিন্দু
4. আয়তকার পাত	কর্ণদ্বয়ের ছেদবিন্দু
5. গোলক	জ্যামিতিক কেন্দ্র
6. বেলন	অক্ষের মধ্যবিন্দু
7. শঙ্কু	অক্ষের উপর—ভূমি থেকে $\frac{1}{4}$ উচ্চতায়।

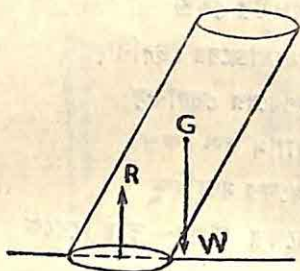
5. 7 বিষম বস্তুর পরীক্ষামূলক ভারকেন্দ্র নির্ণয়
(Determination of c. g. of irregular bodies)

বস্তুটিকে তার প্রান্তীয় কোন বিন্দু P থেকে সুতোর সাহায্যে ঝুলিয়ে দাও। বস্তুটি যখন সাম্যাবস্থায় আসবে তখন সুতোর রেখা বস্তুর ভারকেন্দ্র দিয়ে যাবে। একটি ওলন W-র সাহায্যে এই দিক PW চিহ্নিত করে রাখ। বস্তুটিকে এবার আর একটি প্রান্তীয় বিন্দু P' থেকে ঝুলাও এবং পূর্বের পদ্ধতি অনুসরণ করে ভারকেন্দ্রগামী দিক $P'W$ চিহ্নিত কর। উভয় রেখাই ভারকেন্দ্র গামী বলে উভয়ের ছেদ বিন্দুই নির্ণেয় **ভারকেন্দ্র** হবে।

P
P
O
B
W

চিত্র 58

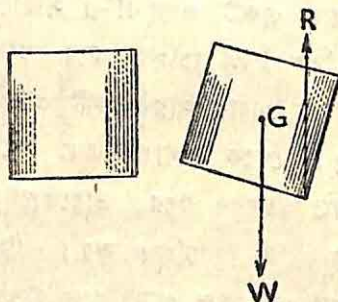
5. 8 ভারকেন্দ্র সম্পর্কে আরও তথ্য (Further facts about C.G.)

কোন বস্তুর ভারকেন্দ্র বস্তুদেহেই অবস্থিত হবে এমন কোন কথা নেই। এ সম্পর্কে সবচেয়ে সহজ উদাহরণ হল আংটি—আংটির ভারকেন্দ্র আংটির বাইরে কেন্দ্রস্থলে, একটি ফুটবলের ভারকেন্দ্র বস্তুদেহের বাইরে। তেমনি একটি চেয়ারের ভারকেন্দ্রও চেয়ারের বাইরে অবস্থিত।

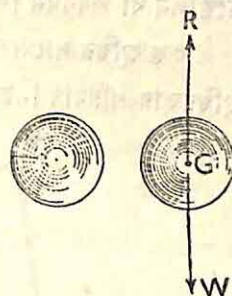
কোন বস্তুকে কোন অনুভূমিক তলে দাঁড় করিয়ে দিলে বস্তুটি দাঁড়িয়ে থাকবে না পড়ে যাবে তা নির্ভর করে বস্তুর ভারকেন্দ্রের অবস্থানের উপর। বস্তুটি অনুভূমিক তলের যে স্থান জুড়ে আছে ভার-কেন্দ্রগামী উল্লম্ব রেখা যদি সেই স্থানের মধ্য দিয়ে যায় তবে বস্তুটি দাঁড়িয়ে থাকবে, কিন্তু ঐ উল্লম্বরেখা যদি ঐ স্থানের বাইরে দিয়ে যায় তবে বস্তুটি পড়ে যাবে। শেষোক্ত ক্ষেত্রে ভূমির অনুভূমিক তলের লম্ব প্রতিক্রিয়া R ভারকেন্দ্র G দিয়ে যায় না এবং R বল ও বস্তুর ওজন W একটি দ্বন্দ্বের সৃষ্টি ক'রে বস্তুটিকে ঘুরিয়ে ফেলে দেয়।

চিত্র 59

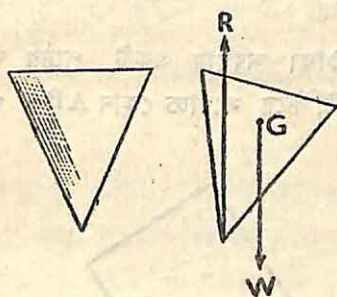
5. 9 সাম্যের সুস্থিরতা (Stability of equilibrium)

সকল সাম্যাবস্থাই সমান সুস্থির নয়। এজন্য সাম্যের সুস্থিরতা বিবেচনার প্রয়োজন হয়। উপরে উল্লিখিত দ্বন্দ্বের ক্রিয়ার দ্বারা কোন তলে অবস্থিত বস্তুর সাম্যাবস্থার সুস্থিরতা সম্পর্কে ধারণা জন্মে।

ধর, প্রথম ক্ষেত্রে বস্তুটি একটি ঘনকাকার বাক্স। বাক্সটিকে তার সাম্যাবস্থান থেকে কিছুটা উঁচু (কাত) করে ছেড়ে দাও। দেখ, বাক্সটি আবার স্বস্থানে ফিরে এলো। কাত-করা অবস্থায় বস্তুর ওজন W এবং একটি ধার দিয়ে যাওয় লম্ব প্রতিক্রিয়া R যে দ্বন্দ্ব গঠন করে ঐ দ্বন্দ্বের ক্রিয়ায় বস্তুটি তার প্রাথমিক অবস্থানে ফিরে আসে। এই জাতীয় সাম্যাবস্থাকে **সুস্থির সাম্যাবস্থা** (Stable equilibrium) বলে। কাজেই সুস্থির সাম্যাবস্থা হল বস্তুর

চিত্র 60

সেই সাম্যাবস্থা যা থেকে বস্তুকে কিছুটা অপসারণ করলেও সে পূর্বাবস্থায় ফিরে আসে। সুতোয় ঝুলানো ওজন, ছোট-ব্যাস উল্লম্বরেখা বরাবর রাখা ডিমের অবস্থান, সমগতিতে চলমান বাসের সাম্যাবস্থা সবই সুস্থির সাম্যাবস্থা।

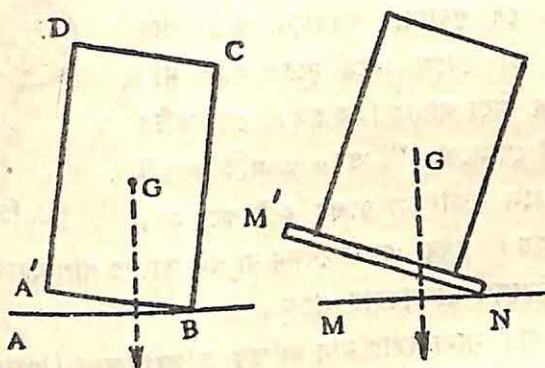
আর এক ধরনের সাম্যাবস্থা আছে তাকে **নিরপেক্ষ সাম্যাবস্থা** (Neutral equilibrium) বলে। নিরপেক্ষ সাম্যাবস্থায় বস্তুর সামান্য সরণ ঘটলে বস্তুটি তার নূতন অবস্থানে গিয়ে আবার সাম্যাবস্থা পায়। যেমন ধর, 61 নং চিত্রে একটি গোলক সমতলে স্থির অবস্থায় রয়েছে। ওর সামান্য সরণ ঘটাও। দেখ, সে পুরানো অবস্থানে আর ফিরে গেল না বা তা থেকে ক্রমে দূরেও সরল না। নূতন অবস্থানে গিয়ে আবার স্থির হল। গোলকটির সব অবস্থানেই গোলকের W ওজন ও প্রতিক্রিয়া R সমরৈখিক ; ফলে কোনরূপ দ্বন্দ্বের সৃষ্টি করে না। তাই এমন হয়। যখন একটি বেলন বা শঙ্কু তাদের পাশ বরাবর পড়ে থাকে তখন তারা নিরপেক্ষ সাম্যাবস্থায় থাকে।

চিত্র 61

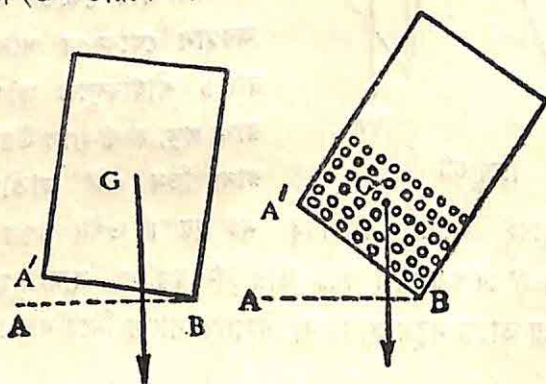
তৃতীয় প্রকার সাম্যাবস্থার নাম **অস্থির সাম্যাবস্থা** (Unstable equilibrium)। এই সাম্যাবস্থায় বস্তুর সামান্য সরণ ঘটলে বস্তুটি পূর্ব-অবস্থানে ফিরতে তো পারেই না, বরং তা থেকে ক্রমাগত সরে যেতে থাকে। পূর্ব-অবস্থান থেকে সে অনেক দূরে চলে যায়। শীর্ষবিন্দুতে তাৎক্ষণিক সাম্যে রাখা শঙ্কু, দীর্ঘ ব্যাস উল্লম্বরেখা বরাবর রাখা ডিম এই জাতীয় সাম্যাবস্থা —সামান্য সরণেই এদের সাম্যাবস্থা নষ্ট হয়। তখন বস্তুর ওজন W ও প্রতিক্রিয়া বল R যে দ্বন্দ্ব গঠন করে তার টর্ক বস্তুটির সাম্যাবস্থা একেবারে বিনষ্ট করে দিয়ে তাকে নতুন সুস্থির বা নিরপেক্ষ সাম্যে নিয়ে যায়।

চিত্র 62

5. 10 ভারকেন্দ্রের অবস্থান ও সাম্যবস্থার সম্পর্ক
(Position of C G. & equilibrium state)

সুস্থির সাম্য অবস্থায় কোন বস্তুর সামান্য সরণ ঘটলে ভারকেন্দ্র উত্তোলিত হয়। বিপরীত পক্ষে, অস্থির সাম্য অবস্থানে সামান্য সরণে ভারকেন্দ্র অবনত হয়। আর নিরপেক্ষ সাম্য অবস্থানের ক্ষেত্রে সামান্য সরণে ভারকেন্দ্রের উত্তোলন বা অবনমন কিছুই ঘটে না।

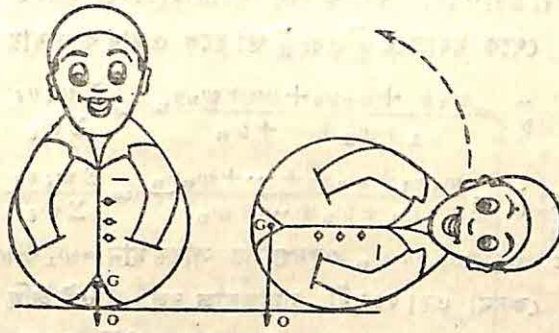
কিন্তু সুস্থির সাম্যেও একের সুস্থিরতা অপরের তুলনায় বেশি হতে পারে। সুস্থিরতার পরিমাণ নিরূপণের জন্যে বস্তুটিকে সর্বোচ্চ যতদূর কাত করা চলে তা

চিত্র 63

নির্ণয় করা হয়। ধর ABCD বাক্সটি ফাঁকা অবস্থায় একটি পৃষ্ঠের উপর সুস্থির সাম্যে দাঁড়িয়ে আছে। একে না উল্টিয়ে সর্বোচ্চ কোণ ABA′ পর্যন্ত কাত করা চলে (G = ভারকেন্দ্র)।

চিত্র 64

এবারে বাক্সের পৃষ্ঠতলে উপেক্ষণীয় ওজনের চওড়া পাত লাগিয়ে ভূমিকে

বাড়াও। এবারে বাক্সটিকে না উল্টে আরও বেশি ($\angle MNM'$) কাত করা সম্ভব। অতএব ভূমি যত চওড়া হয় সুস্থিরতা তত বাড়ে।

আবার ঐ ভাবে দাঁড়ানো বাক্সটির কথা ধর। ভিতরে এবার কিছু ইটের টুকরো দিয়ে প্রায় অর্ধেকটা ভর্তি কর। বাক্সের নতুন ভারকেন্দ্র G′-এর অবস্থান G-এর কিছু নিচে। এ ক্ষেত্রে বাক্সটিকে B-র চারদিকে কোণ ABA′ পর্যন্ত কাত করা সম্ভব। এর বেশি হলে বাক্স উল্টে পড়বে। $\angle ABA' > \angle ABA'$। কাজেই ভারকেন্দ্রকে নিচে নামিয়ে সুস্থিরতা বাড়ানো সম্ভব।

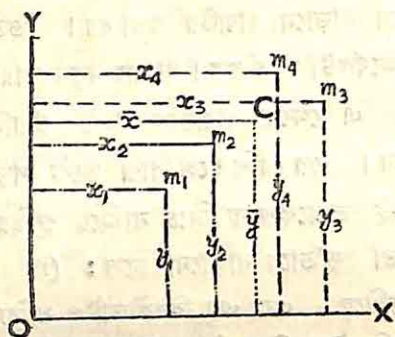
অতএব সুস্থিরতা দু'ভাবে বাড়ানো চলে: (i) ভূমিকে চওড়া করে (ii) ভারকেন্দ্রকে নামিয়ে। এবং এর বিপরীতটিও সত্যি। একতলা-দোতলা বাস, ট্রেন, মোটরগাড়ি ইত্যাদির গঠনে এই ব্যাপারটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। এই ব্যাপারটিকে ভিত্তি করে বাজারে মজাদার খেলনা পুতুলও কিনতে পাওয়া যায়।

চিত্র 65

এগুলোর বৈশিষ্ট্য হল যে দিকেই কাত করে রাখা হোক না কেন এরা সিধে হয়ে বসবে (self-erecting dall)। এদের ভূমি বক্রতল বিশিষ্ট এবং ভারকেন্দ্র ভূমির বক্রতাকেন্দ্রের নিচে অবস্থান করে। ফলে একে কাত করলেই ভারকেন্দ্র উপরে উঠে যায় এবং অভিকর্ষ পুতুলটি ঘুরিয়ে সিধে করে দেয়।

5. 11 ভারকেন্দ্র নির্ণয়ের গাণিতিক পদ্ধতি

(Analytical method of determining C. G.)

ধর, কোন সামতলিক ক্ষেত্রে একগুচ্ছ বস্তুকণা অবস্থান করছে। ওদের ভরগুলো যথাক্রমে $m_1, m_2, \cdots\cdots, m_n$ এবং ওজনগুলো যথাক্রমে $w_1, w_2, \cdots, w_n$.

OX ও OY ঐ সমতল ক্ষেত্রে দুটি পরস্পর লম্ব রেখা। OX রেখা থেকে বস্তুকণাগুলোর দূরত্ব যথাক্রমে $y_1, y_2, \cdots, y_n$ এবং OY রেখা থেকে দূরত্ব

চিত্র 66

যথাক্রমে $x_1, x_2, \cdots, x_n$. ধর, C বিন্দু নির্ণেয় ভারকেন্দ্র এবং C বিন্দুর দূরত্ব ঐ দুই রেখা থেকে যথাক্রমে $\bar{y}$ এবং $\bar{x}$ তা হলে প্রমাণ করা যায় যে,

$$\bar{y} = \frac{w_1 y_1 + w_2 y_2 + \cdots + w_n y_n}{w_1 + w_2 + \cdots + w_n} = \frac{\Sigma w_i y_i}{\Sigma w_i}$$

$$\text{এবং} \quad \bar{x} = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + \cdots + w_n x_n}{w_1 + w_2 + \cdots + w_n} = \frac{\Sigma w_i x_i}{\Sigma w_i}$$

প্রমাণ : $w_1, w_2, \cdots, w_n$ ওজনগুলির লব্ধির মান $= w_1 + w_2 + \cdots + w_n$ $= \Sigma w_i$, কেননা এরা সমমুখী, সমান্তরাল বল। এই লব্ধি বল ভারকেন্দ্রে ক্রিয়াশীল। সাম্যের শর্তানুসারে, OX রেখা ও OY রেখার সাপেক্ষে ওজন বলগুলির টর্কের বীজগাণিতিক সমষ্টি তাদের লব্ধির টর্কের (ঐ ঐ রেখার সাপেক্ষে) সমান ও বিপরীত।

$$\therefore (w_1 + w_2 + \cdots + w_n)\,\bar{y} = w_1 y_1 + w_2 y_2 + \cdots + w_n y_n$$

$$\text{এবং} \quad (w_1 + w_2 + \cdots w_n)\,\bar{x} = w_1 x_1 + w_2 x_2 + \cdots + w_n x_n$$

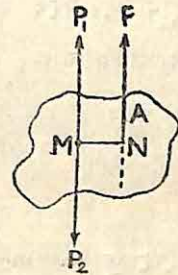
$\therefore$ x ও y এর মান উপরি-উক্ত সমীকরণদ্বয়ের দ্বারা নির্ণীত হচ্ছে।

5. 12 ভরকেন্দ্র Centre of mass)

একটা মসৃণ টেবিলে দেশলাই বাক্স রেখে পেন্সিলের তীক্ষ্ণ অগ্রভাগ দিয়ে অনুভূমিকভাবে ঠেলো। দেখ, বাক্সটি সরছে, কিন্তু সেই সঙ্গে ঘুরছেও। কিন্তু প্রযুক্ত ঠেলা-বলের ক্রিয়ারেখা যদি ঐ বস্তুর কোন একটি বিশেষ বিন্দু বরাবর হয় তবে বাক্সটি নিজের সমান্তরালে সরে যাবে, ঘুরবে না। ঐ বিশেষ বিন্দুটিকে

বস্তুর **ভরকেন্দ্র** বলে। বাক্সের সরণগতির ক্ষেত্রে বাক্সের সমস্ত ভর ঐ বিন্দুতে কেন্দ্রিত মনে করা চলে। কাজেই ভরকেন্দ্রের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেওয়া যায়।

সংজ্ঞা : **কোন বস্তুর ভরকেন্দ্র বলতে এমন একটি নির্দিষ্ট বিন্দু বোঝায়, যে বিন্দুতে, বস্তুর সরণগতি বিবেচনাকালে, বস্তুর সমস্ত ভর কেন্দ্রিত মনে করা চলে।**

এই কারণে দৃঢ় বস্তুর ক্ষেত্রে যখন শুধুমাত্র সরণ গতিই বিবেচ্য, তখন বস্তুটি বাদ দিয়ে তার ভরকেন্দ্রে সমভরযুক্ত একটি বিন্দুপ্রতিম বস্তু বসিয়ে সমস্যাকে সরল করে নেওয়া হয়। যখন কোন স্প্রিং বোর্ড থেকে সাঁতারু ডাইভ দেন তখন দেহের ভরকেন্দ্র অধিবৃত্তীয় পথ অতিক্রম করে—সাঁতারু নিজ দেহকে গুটিয়ে বা ঘুরিয়ে দিলেও এর কোন ব্যতিক্রম হয় না। যদি কোন দৃঢ় বস্তুতে এমনভাবে ধাক্কা-বল প্রয়োগ করা হয় যে, বলের ক্রিয়ারেখা ভরকেন্দ্রমুখী নয়, তবে বস্তুতে যে গতির সঞ্চার হবে তা হল বলাভিমুখে বস্তুর ভরকেন্দ্রের সরণ এবং ভরকেন্দ্রের সাপেক্ষে বস্তুর ঘূর্ণন। যদি বল ভরকেন্দ্রমুখী হয় তবে ঘূর্ণনের কোন অবকাশ থাকে না; শুধু ভরকেন্দ্রের সরণ ঘটে।

চিত্র 67

চিত্রে M=বস্তুর ভরকেন্দ্র, MN= ভরকেন্দ্র থেকে বস্তুর উপর প্রযুক্ত F বলের ক্রিয়ারেখা NA-র লম্ব দূরত্ব। M বিন্দুতে F বলের সমান দুটি বিপরীত বল P_1, P_2 প্রয়োগ কর। তা হলে P_1 বল বস্তুর সরণ ঘটাবে। আর F এবং P_2 একটি দ্বন্দ্ব গঠন ক'রে ভরকেন্দ্রের সাপেক্ষে ঘূর্ণন সৃষ্টি করবে।

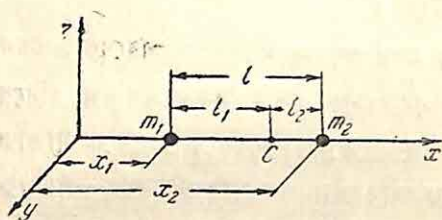
যদি বস্তুটি এত ছোট হয় যে, বস্তুর প্রত্যেক বিন্দুতে g-এর মান সমান তবে **ভরকেন্দ্র ও ভারকেন্দ্র একই বিন্দু।**

5.13 গাণিতিক পদ্ধতিতে ভরকেন্দ্র নির্ণয় (Determination of c. m. analytically)

মনে কর m_1, m_2 ভরের দুটি বস্তুকণা x-অক্ষের উপর যথাক্রমে x_1, x_2 বিন্দুতে অবস্থান করছে। বস্তুকণা দুটির দূরত্ব $l=x_2-x_1$। মনে কর C বিন্দুটি (অবস্থান x_c) বস্তুকণার দূরত্বকে দুটি দৈর্ঘ্যে এমনভাবে ভাগ করছে যে, দৈর্ঘ্যদ্বয় l_1, l_2 ভরের ব্যস্তানুপাতী। তা হলে C বিন্দুই নির্ণেয় ভরকেন্দ্র।

$$\therefore \text{ সংজ্ঞানুসারে, } \frac{l_1}{l_2}=\frac{m_2}{m_1}$$

$$\text{বা} \quad m_1(x_c-x_1)=m_2(x_2-x_c)$$

$$\therefore \quad x_c=\frac{m_1x_1+m_2x_2}{m_1+m_2}$$

চিত্র 68

যদি দুটি বস্তুকণার পরিবর্তে একগুচ্ছ বস্তুকণা (কণাগোষ্ঠী) থাকে তাহলে যেভাবে গাণিতিক বিবেচনায় ভারকেন্দ্র নির্ণয় করা হয়েছে, অনুরূপভাবে ভরকেন্দ্রও নির্ণয় করা যায়। পার্থক্য শুধু এই যে, ওজন w-র পরিবর্তে ভর m ব্যবহার করতে হবে।

অর্থাৎ যদি $m_1, m_2, \cdots$ ইত্যাদি ভরগুলি $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \cdots$ বিন্দুতে অবস্থান করে তবে ভরকেন্দ্র C-এর অবস্থান $(\bar{x}, \bar{y})$ নিম্নোক্ত সমীকরণ দুটি থেকে পাওয়া যায়।

$$\bar{x}=\frac{m_1x_1+m_2x_2+\cdots}{m_1+m_2+\cdots}=\frac{\Sigma mx}{\Sigma m}$$

$$\bar{y}=\frac{m_1y_1+m_2y_2+\cdots}{m_1+m_2+\cdots}=\frac{\Sigma my}{\Sigma m}$$

যেহেতু $w=mg$, অতএব g-র মান বস্তুটির প্রত্যেক বস্তুকণায় একই হলে ভরকেন্দ্র ভারকেন্দ্রের সঙ্গে অভিন্ন হবে।

5. 14 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. যদি 100 গ্রাম ভরের একটি মিটার দণ্ডের 10 সেমি দাগে 55 গ্রাম, 20 সেমিতে 70 গ্রাম এবং 60 সেমিতে 80 গ্রাম ভর চাপানো হয় তবে কোন্ বিন্দুতে দণ্ডটি সাম্য (balanced) অবস্থায় থাকবে ?

ধর, দণ্ডটিকে x দূরত্বে সাম্য অবস্থায় রাখা যায়।

দণ্ডটির ওজন দণ্ডটির মধ্যবিন্দু দিয়ে ক্রিয়া করে।

সুতরাং এ ক্ষেত্রে ঘড়ির কাঁটামুখী ভ্রামক

$$=100(50-x)+80(60-x) \qquad \cdots\cdots\text{(i)}$$

এবং ঘড়ির কাটার বিপরীতমুখী ভ্রামক

$$=55(x-10)+70\,(x-20) \qquad \cdots\cdots\text{(ii)}$$

যেহেতু সাম্য অবস্থায় (i) ও (ii) সমান, অতএব

$$100(50-x)+80(60-x)=55(x-10)+70(x-20)$$

সমাধান করে $x=$ **38·52 সেমি।**

উদা. **2.** 20 সেমি দাগে 200 গ্রাম ভর ঝুলিয়ে দিলে একটি মিটার স্কেলকে 30 সেমি দাগে ঝুলিয়ে আনুভূমিক রাখা যায়। স্কেলটির ভর কত?

ধরা যাক স্কেলটির ভর $=m$

30 সেমি দাগের দুই দিকের বলের ভ্রামক নিয়ে,

$$200\times(30-20)=m\times(50-30)$$

বা $\quad 200\times10=m\times20$

$\therefore \quad m=$ **100 গ্রাম**

অনুশীলনী

1. স্থিরাবস্থা ও সাম্যাবস্থায় পার্থক্য কি? উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।

2. কোন বস্তুর সাম্যাবস্থার শর্তগুলি কি কি? কোন্ অবস্থায় (i) তিনটি সমান্তরাল এবং (ii) তিনটি অসমান্তরাল বল সাম্যে অবস্থান করে?

3. ভারকেন্দ্র ও ভরকেন্দ্র বলতে কি বোঝ? এদের মধ্যে পার্থক্য কোথায়? কোন্ অবস্থায় ভরকেন্দ্র ও ভারকেন্দ্র একই বিন্দুতে পর্যবসিত হয়?

4. পরীক্ষামূলকভাবে কোন বিষম বস্তুর ভারকেন্দ্র কিরূপে নির্ণয় করবে?

5. সাম্যাবস্থা কয় ধরনের হতে পারে? বিষয়টি ব্যাখ্যা কর।

6. সুস্থির, অস্থির ও নিরপেক্ষ সাম্যাবস্থা বলতে কি বোঝ? প্রত্যেকটির উদাহরণ দাও। সাম্যের সুস্থিরতা বিষয়ে আলোচনা কর।

7. কোন সামতলিক ক্ষেত্রে একগুচ্ছ বস্তুকণা অবস্থান করছে। গাণিতিক পদ্ধতিতে কি করে ওদের ভারকেন্দ্র নির্ণয় করবে?

8. নিম্নলিখিত বস্তুগুলোর ভারকেন্দ্র কোথায় হবে বল:

গোলক, গোলাকার আংটি, ত্রিভুজাকৃতি পাত, বেলন, শঙ্কু, আয়তক্ষেত্র।

9. m_2, m_2....ইত্যাদি ভরগুলো যদি কোন সমতল ক্ষেত্রে (x_1, y_1), (x_2, y_2),....ইত্যাদি বিন্দুতে অবস্থান করে তবে দেখাও যে, ঐ কণাসমষ্টির ভরকেন্দ্রের অবস্থান $(\bar{x}, \bar{y})$ নিম্নোক্ত সমীকরণদ্বয়ের দ্বারা নিরূপিত হয়।

$\bar{x}=\Sigma mx/\Sigma m$ এবং $\bar{y}=\Sigma my/\Sigma m$

10. দেখাও যে, ত্রিভুজাকৃতি কোন পাতের ভরকেন্দ্র (বা ভারকেন্দ্র) ঐ ত্রিভুজের মধ্যমাত্রয়ের ছেদবিন্দু।

6

ষষ্ঠ অধ্যায়

কার্য, শক্তি ও ক্ষমতা (Work, Energy and Power)

6. 1 কাজ (Work)

সাধারণভাবে কাজ বলতে আমরা যা বুঝি, বিজ্ঞানের সংজ্ঞায় সেটা কাজ না-ও হতে পারে। পরিশ্রম করা এবং কাজ করা এক কথা নয়। একথা ঠিক যে কোন ব্যক্তি কাজ করলে তার পরিশ্রম হয়; কিন্তু পরিশ্রম করলেই যে কাজ করা হবে একথা ঠিক নয়। বিজ্ঞানে 'কাজ'-এর একটি বিশিষ্ট অর্থবহ সংজ্ঞা আছে। সেটি এই :

সংজ্ঞা : কোন বস্তুর উপর বল প্রযুক্ত হলে যদি বলাভিমুখে বস্তুটির সরণ ঘটে তবে **বল কাজ করেছে** বলা হয়। এবং কৃতকাজকে ধনাত্মক ধরা হয়। কিন্তু বস্তুর সরণ বলের বিপরীতমুখী হলে বলা হয় **বলের বিরুদ্ধে কাজ** করা হয়েছে এবং কৃত কাজকে ঋণাত্মক ধরা হয়।

কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া যাক। একটি বস্তুকে ঠেলে কিছু দূর সরান হল। যেদিকে ঠেলা হল বস্তুটি সেদিকে সরলো। ঠেলা-বল এখানে কাজ করল।

এক বালতি জল কুয়ো থেকে উপরে উঠান হল। কাজ হল। এখানে পৃথিবীর অভিকর্ষ বল বালতিকে নিচের দিকে টানছে, বালতি-ভর্তি জল তার বিপরীত দিকে সরল। বলের বিরুদ্ধে কাজ করা হল।

কাজের পরিমাণ : কিভাবে কাজের পরিমাপ করা হবে? **যে বল কাজ করল বা যে বলের বিরুদ্ধে কাজ করা হল সেই বল এবং বলাভিমুখে (বা বলের বিপরীতমুখে) বস্তুর সরণের গুণফল হল কাজের পরিমাপক।**

গণিতের ভাষায়, $W = F.s$ ....(1)

এখানে W = কাজ, F = বল এবং s = সরণ। W একটি স্কেলার রাশি।

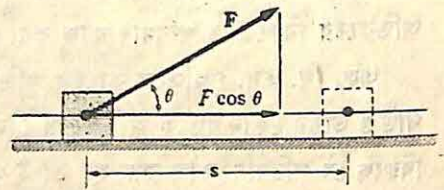
ধর, বল প্রয়োগ করা হল, কিন্তু সরণ হল না। $\therefore s=0, \ \therefore W=$

$F.0=0$; এক্ষেত্রে কাজ হল না। বলের মান যতই হোক, সরণ না হলে কোনরূপ কাজ হয় না।

আবার, যদি বলের অভিমুখ সরণের অভিমুখে না হয় তাহলে

$W=Fs\cos\theta$ ....(2)

এখানে θ হলো বলের অভিমুখ ও সরণের অভিমুখের অন্তবর্তী কোণ এবং $F\cos\theta$ হলো সরণ অভিমুখে বলের উপাংশ। কৃত কাজের বিবেচনায় এই উপাংশই কার্যকরী (effective) বল।

F
θ $F\cos\theta$
s

চিত্র 69

লক্ষ্য কর : (1) নং সমীকরণ (2) নং সমীকরণেরই বিশেষ রূপ। কেননা, সরণ বলাভিমুখী হলে $\theta=0$ এবং $\cos\theta=1$

আবার, সরণ বলের বিপরীতমুখী হলে $\theta=180°$ এবং $\cos\theta=-1$; কাজেই (2) নং সমীকরণ থেকে $W=-Fs$; এখানে $-$ চিহ্ন নির্দেশ করছে যে বলের বিরুদ্ধে কাজ করা হচ্ছে।

সরণ যদি বলের অভিমুখের সমকোণে হয় তবে $\theta=90°$, $\cos\theta=0$ এবং $W=0$; **এক্ষেত্রে কোন কাজ হয় না।**

ঘূর্ণন গতির ক্ষেত্রে **কাজ = টর্ক × কৌণিক সরণ**

6. 2 কাজের একক (Units of work)

1 নং সমীকরণে $F=1$ এবং $s=1$ হলে $W=1$. কাজেই যখন একক বল কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত হয়ে প্রয়োগবিন্দুর একক সরণ ঘটায় তখন কৃত কাজের পরিমাণ এক একক।

সি. জি. এস. পদ্ধতিতে বলের চরম একক ডাইন, সরণের চরম একক সেন্টিমিটার। কাজেই, **এক ডাইন বল কোন বস্তুতে প্রযুক্ত হয়ে যখন প্রয়োগবিন্দুর এক সেন্টিমিটার সরণ ঘটায় তখন কৃত কাজ এক সি. জি. এস. একক।** এর নাম **আর্গ** (erg) বা **ডাইন-সেমি.।**

এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে বলের চরম একক পাউণ্ডাল, সরণের চরম একক ফুট। কাজেই, **এক পাউণ্ডাল বল কোন বস্তুতে প্রযুক্ত হয়ে যখন প্রয়োগবিন্দুর এক ফুট সরণ ঘটায় তখন কৃত কাজ এক এফ. পি. এস. একক।** এর নাম **ফুট পাউণ্ডাল।**

সি.জি. এস. পদ্ধতিতে কাজের অভিকর্ষীয় একক এক **গ্রাম-সেন্টিমিটার।** এক গ্রাম ভরের কোন বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে এক সেমি. উর্ধ্বে ওঠালে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে যে পরিমাণ কাজ করা হয় তাই এক গ্রাম-সেন্টিমিটার।

এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে কাজের অভিকর্ষীয় একক হল **ফুট-পাউণ্ড।** এক পাউণ্ড ভরের কোন বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে একফুট উর্ধ্বে ওঠালে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে যে পরিমাণ কাজ করা হয় তা-ই এক ফুট পাউণ্ড।

গ্রাম সেন্টিমিটার ও আর্গের সম্পর্ক (Relation between gm. cm. and erg.)

1 **গ্রাম-সেমি.** = 1 গ্রাম ওজন × 1 সেমি.
= 1 × g ডাইন × 1 সেমি.
= g আর্গ
= **981** আর্গ

ফুট-পাউণ্ড ও ফুট পাউণ্ডালের সম্পর্ক (Relation between ft. lb. and ft. poundal)

1 **ফুট পাউণ্ড** = 1 পাউণ্ড ওজন × 1 ফুট
= 1 × g পাউণ্ডাল × 1 ফুট
= g ফুট পাউণ্ডাল
= 32 ফুট-পাউণ্ডাল

ফুট পাউণ্ডাল ও আর্গের সম্পর্ক (Relation between ft. poundal and erg)

1 **ফুট পাউণ্ডাল** = 1 ফুট × 1 পাউণ্ডাল
= 1 ফুট × 1 পাউণ্ড × 1 ফুট/সেকেণ্ড^2
= 30·48 সেমি. × 453·6 গ্রাম × 30·48 সেমি./সে^{2}
= 30·48 × 453·6 ডাইন × 30·48 সেমি.
= 30·48 × 413·6 × 30·48 আর্গ
= **4·21 × 10^5 আর্গ**

জুল : আর্গ নেহাতই ছোট একক। এজন্য সি. জি. এস. পদ্ধতিতে একটি ব্যবহারিক এককের প্রবর্তন করা হয়েছে। এর নাম জুল (joule)।

1 জুল = 10^7 আর্গ

6. 3 শক্তি ও শক্তির একক (Energy and its unit)

কোন বস্তুর কাজ করার সামর্থ্যকে **শক্তি** বলে। শক্তির কোন আকার, আয়তন বা ভর নেই ; আছে শুধু কাজ করার সামর্থ্য।

বিজ্ঞানে বিভিন্ন প্রকারের শক্তির কথা আছে। যেমন তাপশক্তি, আলোক-শক্তি, শব্দশক্তি, তড়িৎশক্তি, চৌম্বক শক্তি, রাসায়নিক শক্তি ও যান্ত্রিক শক্তি। এখানে শুধু যান্ত্রিক শক্তির কথা আলোচনা করা হবে।

কোন বস্তুর অবস্থান বা চলনের পরিপ্রেক্ষিতে বস্তুটি কাজ করার যে সামর্থ্য অর্জন করে তাকে **যান্ত্রিক শক্তি** (Mechanical energy) বলা হয়।

কোন বস্তুতে কি পরিমাণ কাজ করার সামর্থ্য অর্থাৎ শক্তি নিহিত আছে তা মাপার উপায় হল ঐ বস্তু মোট কতটা কাজ করবে তা দেখা। সুতরাং **কাজের এককে শক্তি মাপা হয়**। ফলে শক্তির এককও হল **আর্গ, ফুট-পাউণ্ডাল, জুল** ইত্যাদি।

6. 4 স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তি (Potential and kinetic energy)

যান্ত্রিক শক্তিতে দু-ভাগে ভাগ করা যায়—**স্থিতিশক্তি** এবং **গতিশক্তি**।

স্থিতিশক্তি : কোন বস্তু (i) তার অবস্থানের পরিবর্তনের ফলে অথবা (ii) স্বাভাবিক অবস্থার বিকৃতির জন্য শক্তি অর্জন করতে পারে। এই শক্তিকে **স্থিতিশক্তি** বলে।

দৃষ্টান্ত : ভূ-পৃষ্ঠ থেকে একটি ইট ছাদে তোলা হল। এভাবে ইটকে স্থানান্তরিত করতে গিয়ে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে কাজ করতে হল। এই কাজ স্থিতিশক্তি হিসাবে ছাদে-তোলা ইটে নিহিত থাকবে এবং ইটটি যদি ছাদ থেকে আবার ভূ-পৃষ্ঠে পড়ে তবে ঐ স্থিতিশক্তির বিনিময়ে মাটিতে পড়ার আগে সে ঠিক ঐ পরিমাণ কাজ করবে। কাজেই বলা যায়, অবস্থানের পরিবর্তনের জন্য ছাদে-তোলা ইট কিছু শক্তি সঞ্চয় করেছে। এটি স্থিতিশক্তি—**অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি** (gravitational potential energy)। এক্ষেত্রে, সাধারণত প্রথম অবস্থানকে বস্তুর **প্রমাণ অবস্থান** বা **শূন্য অবস্থান** (standard or zero configuration) ধরা হয়। কাজেই, প্রমাণ অবস্থান থেকে কোন বস্তুকে অন্য অবস্থানে নিয়ে এলে যে পরিমাণ কাজ করতে হয় তা-ই স্থিতিশক্তি।

একটি ধনুকে শর স্থাপন করে জ্যা-আরোপ করলে ধনুকের ছিলার স্বাভাবিক অবস্থার বিকৃতি ঘটে। এই বিকৃতির জন্য কিছু স্থিতিশক্তি অর্জিত হয়। কেননা, জ্যা-মুক্ত করে ছিলাটিকে আবার স্বাভাবিক অবস্থায় আনতে গেলে সে

শরটি বেগে ছুড়ে দিয়ে কাজ করবে। অবস্থার বিকৃতি-জনিত এই স্থিতিশক্তিকে **স্থিতিস্থাপকীয় স্থিতিশক্তি** (elastic potential energy) বলে।

স্থিতিশক্তির এরূপ আরো দৃষ্টান্ত দেওয়া যায়। উচ্চস্থানের আধারে রক্ষিত জলের স্থিতিশক্তিকে কাজে লাগিয়ে **জল বিদ্যুৎ** (hydroelectricity) উৎপন্ন করা হয়। আমরা প্রতিদিন ঘড়িতে যে চাবি দিই তার ফলে ঘড়ির স্প্রিং-এর বিকৃতি ঘটে। স্প্রিংটি স্থিতিশক্তি অর্জন করে এবং সারাদিন ধীরে ধীরে পাক খুলে স্বাভাবিক গঠনে ফিরে আসার কালে ঐ স্থিতিশক্তির বিনিময় কাজ করে।

গতিশক্তি—কোন বস্তু তার গতিশীল অবস্থার ফলে কাজ করার যে সামর্থ্য অর্জন করে তাকে ঐ বস্তুর **গতিশক্তি** বলে।

দৃষ্টান্ত (Examples) : কোন বস্তু, ধর একটি ঢিল, যখন স্বাভাবিক অবস্থানে স্থির থাকে তখন তার কোন কাজ করার ক্ষমতা নেই। যদি ঢিলটিতে গতি সঞ্চার করা যায় তবে সে কাজ করার সামর্থ্য অর্জন করে। যেমন একটা কাচের জানালার দিকে ঢিলটি ছুঁড়লে সার্সির প্রতিরোধের বিরুদ্ধে সার্সি ভেঙ্গে ফেলতে পারে। গতির ফলে এই শক্তি সঞ্চিত হয় বলে একে গতিশক্তি বলে।

6.5 স্থিতি ও গতি শক্তির পরিমাণ
(Magnitude of potential & kinetic energy)

স্থিতিশক্তি : ধর, কোন একটি বস্তু তার প্রমাণ অবস্থান ভূ-পৃষ্ঠ থেকে h উচ্চতায় উঠানো হয়েছে। বস্তুটির ভর m.

∴ বস্তুর উপর প্রযুক্ত (অভিকর্ষ) বল $= mg$ ($g =$ অভিকর্ষজ ত্বরণ)

যেহেতু এই বলের বিরুদ্ধে বস্তুটিকে h উচ্চতায় উঠানো হয়েছে সেহেতু ঐ অবস্থানে আনতে কৃত কাজ $= mg.h$

এই পরিমাণ কাজ হল বর্তমান অবস্থানে বস্তুর স্থিতিশক্তি।

∴ **স্থিতিশক্তি (P. E.) = mgh**

গতিশক্তি : কোন গতিশীল বস্তুকে বাহ্যিক বল প্রয়োগ দ্বারা গতিশূন্য করতে গেলে থামার আগে ঐ বস্তুটি বলের বিরুদ্ধে যে কাজ করে তা-ই ঐ বস্তুর স্থিতিশক্তির পরিমাপ।

ধর; $m =$ বস্তুর ভর; $u =$ বেগ ; বস্তুটি P বলের বিরুদ্ধে s দূরত্ব অতিক্রম করে গতিশূন্য হল।

∴ গতিশক্তির পরিমাণ $W = P.s$

কিন্তু $P = mf$ (f = বস্তুটির মন্দন)

$$\therefore \quad W = mf.s \quad \ldots\ldots(3)$$

কিন্তু, গতীয় সমীকরণ থেকে $v^2 = u^2 - 2fs$ ($-f$ = মন্দন)

এক্ষেত্রে চরম বেগ $v = 0 \quad \therefore \quad u^2 = 2fs$

বা, $fs = u^2/2 \quad \ldots\ldots(4)$

fs-এর এই মান (3) নং সমীকরণে বসিয়ে, $W = \frac{1}{2}mu^2$

$\therefore$ **গতিশক্তি (K.E) = $\frac{1}{2}$ mu^2 = $\frac{1}{2}$ × ভর × বেগ^2**

6. 6 গতি শক্তির পরিবর্তন (Change in kinetic energy)

ধর, m বস্তুর ভর, u প্রারম্ভিক বেগ, P বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল, বল প্রয়োগের ফলে বর্ধিত বেগ v এবং বল প্রযুক্ত থাকাকালীন বস্তুর সরণ s,

যদি f বস্তুটির ত্বরণ হয়, তবে $P = mf$.

P বলের দ্বারা কৃত কাজ = $P.\ s. = mf.\ s = \frac{1}{2}mf.\ 2s$

কিন্তু $v^2 = u^2 + 2fs \quad \therefore \quad 2fs = v^2 - u^2$

$\therefore$ **কৃত কাজ** = $\frac{1}{2}m(v^2 - u^2) = \frac{1}{2}$ **mu^2** $-$ $\frac{1}{2}$ **mu^2**

= চরম গতিশক্তি − প্রারম্ভিক গতিশক্তি

$\therefore$ **গতিশক্তির পরিবর্তন = প্রযুক্ত বলের দ্বারা কৃত কাজ**

6. 7 শক্তির রূপান্তর ও শক্তির নিত্যতা সূত্র

(Transformation & conservation of energy)

শক্তির রূপান্তর – বিভিন্ন প্রকার শক্তির কথা আগে বলা হয়েছে। কিন্তু শক্তি শুধু বিভিন্ন রূপেই প্রকাশিত হয় না। এক শক্তিকে অন্য শক্তিতে পরিবর্তিতও করা যায়। এর নাম শক্তির **শক্তির রূপান্তর**।

দৃষ্টান্ত (Examples) : (i) হিটারের তারে বিদ্যুৎ পাঠালে তার গরম হয়ে ওঠে। তড়িৎশক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হল। (ii) হাতের তালু দুটির ঘর্ষণে তালু গরম হয়। যান্ত্রিক শক্তি তাপশক্তিতে রূপ নিল। (iii) বৈদ্যুতিক কোষে রাসায়নিক শক্তি বিদ্যুৎশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। (iv) রেল-ইঞ্জিনে কয়লা পুড়িয়ে ইঞ্জিন চালানো হয়। তাপশক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে পরিবর্তিত হয়। (v) বেহালার তার ছড়ার সাহায্যে কাঁপালে তা থেকে শব্দ উৎপন্ন হয়। যান্ত্রিক শক্তির রূপান্তর ঘটে শব্দশক্তিতে।

শক্তির নিত্যতা সূত্র—শক্তির সৃষ্টি বা বিনাশ নেই ; আছে শুধু

রূপান্তর। এক প্রকার শক্তি অন্য প্রকার শক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে মাত্র। শক্তির এই তত্ত্বকে বলা হয় **শক্তির নিত্যতা সূত্র।**

এই সূত্রানুসারে, বিশ্বে মোট শক্তির পরিমাণ নির্দিষ্ট। সৃষ্টির আদিতে বিশ্বে মোট শক্তির পরিমাণ যা ছিল আজও তা-ই আছে। কোনরূপ তারতম্য ঘটেনি। এই সূত্র বিজ্ঞানের একটি মূল্যবান স্তম্ভস্বরূপ।

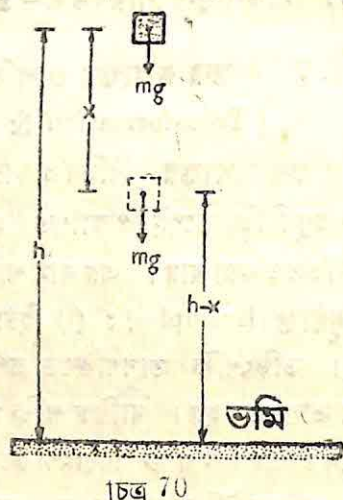
আধুনিক বিজ্ঞানের আলোকে অবশ্য শক্তির বিনিময়তা শুধু বিভিন্ন প্রকার শক্তিতেই সীমাবদ্ধ নয়। শক্তির বিনিময়ে জড় কণিকা এবং বস্তু কণিকার বিলোপে শক্তির উদ্ভবও ঘটে। এ সম্পর্কে আইনষ্টাইনের বিখ্যাত সমীকরণ $E=mc^2$; E হল m পরিমাণ ভরের বিনাশে উদ্ভূত শক্তি, c = আলোর বেগ।

দৃষ্টান্ত (Example)—পতনশীল বস্তুর ক্ষেত্রে শক্তির নিত্যতা সূত্রের সত্যতা দেখানো হল।

(i) ধর, m বস্তুটির ভর এবং প্রাথমিক অবস্থায় এটি h উচ্চতায় স্থির রয়েছে

এক্ষেত্রে বস্তুর স্থিতিশক্তি $= mgh$; বস্তুর গতিশক্তি $= 0$

∴ **বস্তুটির সামগ্রিক যান্ত্রিক শক্তি = mgh**

(ii) এবারে বস্তুটিকে ঐ h-উচ্চতা থেকে ছেড়ে দেওয়া হল। অভিকর্ষের ফলে বস্তুটি নিচে নামবে এবং ক্রমাগত ওর বেগ বাড়তে থাকবে। ফলে বস্তুর গতিশক্তি বাড়বে। ধরা যাক, বস্তুটি যখন x দূরত্ব নামলো তখন ওর বেগ v_1 ;

∴ বস্তুর গতিশক্তি (K.E.) $= \frac{1}{2} mv_1{}^2 = \frac{1}{2} mgx = mgx$

$(\because v_1{}^2 = 2gx)$

কিন্তু, এই অবস্থানে বস্তুর ভূ-পৃষ্ঠ থেকে উচ্চতা $= (h-x)$

চিত্র 70

∴ বস্তুর স্থিতিশক্তি (P.E.) $= mg (h-x)$

∴ **দ্বিতীয় অবস্থানে বস্তুর সামগ্রিক যান্ত্রিক শক্তি**

$= mg (h-x) + mgx = \mathbf{mgh}$

(iii) মাটি স্পর্শ করার ঠিক পূর্ব মুহূর্তে বস্তুটির

গতিশক্তি $K.E. = \frac{1}{2} mv^2$ (v = সেই মুহূর্তের বেগ)

$= \frac{1}{2} m. 2gh = mgh$ ($\because v^2 = 2gh$)

স্থিতি শক্তি $P.E. = mg \times 0 = 0$

$\therefore$ **মোট যান্ত্রিক শক্তি = mgh**

মাটি স্পর্শ করার পর বস্তুটি গতিশূন্য হয়, ফলে গতিশক্তি থাকে না। গতিশক্তি তাপ ও শব্দ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

কাজেই দেখা গেল, পড়ন্ত বস্তুর ক্ষেত্রে শক্তির নিত্যতা সূত্র খাটছে।

বস্তুটির গতিশক্তি + স্থিতিশক্তি = একটি ধ্রুবক

গতিশক্তি বাড়লে স্থিতিশক্তি কমে। স্থিতিশক্তি বাড়লে গতিশক্তি কমে।

6.8 ক্ষমতা ও ক্ষমতার একক (Power & Units of Power)

প্রতি সেকেণ্ডে যে পরিমাণ কাজ করা হয় অর্থাৎ **কাজ করার হারকে ক্ষমতা** বলে।

মনে কর, কোন একটি বস্তু বা যন্ত্র t সেকেণ্ডে W পরিমাণ কাজ করলো। অতএব সংজ্ঞানুসারে,

$$\text{ক্ষমতা } P = \frac{\text{কাজ}}{\text{সময়}} = \frac{W}{t}$$

আবার, **ক্ষমতা** P = কাজ/সময় = বল × সরণ/সময় = **বল × বেগ = F. v**

ঘূর্ণন গতির ক্ষেত্রে **ক্ষমতা = টর্ক × কৌণিক বেগ**

সি. জি. এস পদ্ধতিতে কাজের চরম একক আর্গ, সময়ের একক সেকেণ্ড। কাজেই যখন কোন বস্তু বা যন্ত্র এক সেকেণ্ডে এক আর্গ কাজ তখন ওর ক্ষমতা এক সি. জি. একক বা **আর্গ/সেকেণ্ড**।

এফ. পি. এস পদ্ধতিতে ক্ষমতার চরম একক হল **ফুট-পাউণ্ডাল/সেকেণ্ড**।
সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ক্ষমতার অভিকর্ষীয় একক = **গ্রাম-সেমি/সেকেণ্ড**।
এফ. পি. এস পদ্ধতিতে ক্ষমতার অভিকর্ষীয় একক = **ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড**।

ক্ষমতার ব্যবহারিক একক: ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ক্ষমতার বড় একক প্রয়োজন হওয়ায় ক্ষমতার ব্যবহারিক এককও নির্দিষ্ট করা হয়েছে।

সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ক্ষমতার ব্যবহারিক একক হল **ওয়াট** (Watt)
এক সেকেণ্ডে এক জুল কাজ করার ক্ষমতাকে এক ওয়াট বলে।

$\therefore$ **1 ওয়াট = 1 জুল/সেকেণ্ড = 10^7 আর্গ/সেকেণ্ড**

আরও বৃহত্তর ব্যবহারিক একক হল কিলোওয়াট (K. W)।

1 কিলোওয়াট = 100 ওয়াট

এফ. পি. এস পদ্ধতিতে ক্ষমতার ব্যবহারিক একক হল **অশ্ব ক্ষমতা** (Horse power বা H. P.)। **প্রতি সেকেণ্ডে 550 ফুট-পাউণ্ড কাজ করার ক্ষমতাকে এক অশ্ব ক্ষমতা বলে।**

∴ 1 অশ্ব ক্ষমতা (H. P.) = 550 ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড

অশ্ব ক্ষমতা ও ওয়াটের সম্পর্ক :

1 অশ্ব ক্ষমতা = 550 ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড

$= 550 \times 32{\cdot}2$ ফুট পাউণ্ডাল/সেকেণ্ড

$= 550 \times 32{\cdot}2 \times 4{\cdot}21 \times 10^5$ আর্গ/সেকেণ্ড

(∵ 1 ফুট পাউণ্ডাল $= 4{\cdot}21 \times 10^5$ আর্গস)

$= \dfrac{550 \times 32{\cdot}2 \times 4{\cdot}21 \times 10^5}{10^7}$ জুল/সেকেণ্ড

= 746 ওয়াট

∴ **অশ্ব ক্ষমতা** $= 746/1000 = \frac{3}{4}$ **কিলোওয়াট**

1 কিলোওয়াট = $\frac{4}{3}$ **অশ্ব ক্ষমতা = = 1·34 অশ্ব ক্ষমতা**

কয়েকটি অশ্বক্ষমতার নমুনা :

মানুষ (গড়মান) = 0·14 জিপ গাড়ি = 20.75

ঘোড়া („) = 0·75 জেট প্লেন = 5000

মোটর গাড়ির ইঞ্জিন = 5·25 যুদ্ধ জাহাজ = 100.000

6.11 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examyles)

উদা. 1. 20 গ্রাম ভরযুক্ত এবং 200 মি./সেকেণ্ড বেগবিশিষ্ট একটি বুলেট কোন একটি দেওয়ালকে 2 সেমি. বিদ্ধ করে থেমে গেল। কি পরিমাণ গড় বল ওর বিরুদ্ধে কাজ করল ?

গড় বল P কর্তৃক কৃত কাজ = বুলেটের প্রাথমিক গতিশক্তি

∴ $P \times 2 = \frac{1}{2}(20).(200{,}000)^2$. ∴ $P = 2 \times 10^9$ **ডাইন**

উদা. 2. 5 অশ্ব ক্ষমতাযুক্ত একটি মোটরের সাহায্যে একটি কুঁয়ো থেকে 30 ফুট উচুতে জল পাম্প করে তোলা হচ্ছে। যদি পাম্পের কার্য্যকারিতা 85% হয়, তা হলে প্রতি মিনিটে কয় গ্যালন জল পাম্পের সাহায্যে উঁচুতে উঠবে ? (1 গ্যালন জলের ওজন = 10 পাউণ্ড)। **(কঃ বিঃ 1958)**

প্রতি মিনিটে মোটরের কার্যকরী কৃত কাজ

$$=\frac{5\times550\times66\times85}{100} \text{ ফুট-পাউণ্ড}$$

যদি মিনিটে x গ্যালন $(=10x$ পাউণ্ড) জল পাম্পের সাহায্যে ওঠে, তবে

$$10x\times30=\frac{5\times550\times60\times85}{100} \quad \therefore x=\mathbf{8607} \text{ গ্যালন}$$

উদা. 3. যদি ভূ-পৃষ্ঠে থেকে 8 মাইল উঁচুতে মেঘ থাকে এবং বৃষ্টিপাত এমন হয় যে, সমুদ্রপৃষ্ঠে 1 বর্গমাইল এলাকা $\frac{1}{2}$ ইঞ্চি গভীর জলে ডুবে যায় তবে ঐ মেঘ সৃষ্টিতে কি পরিমাণ কাজ ব্যয়িত হয়েছিল ? (**গৌহাটি, 1950**)

জলের আয়তন $=1$ বর্গমাইল $\times\frac{1}{2}$ ইঞ্চি $=(5280)^2\times\frac{1}{24}$ ঘন ফুট

জলের ঘনত্ব $=62{\cdot}5$ পাউণ্ড/ঘনফুট

$\therefore$ জলের ভর $=(5280)^2\times62{\cdot}5/24$ পাউণ্ড

$$\therefore \text{ ব্যয়িত কাজ}=\frac{(5280)^2\times12{\cdot}5\times5280}{24} \text{ ফুট পাউণ্ড}$$

$$=\mathbf{38338\times10^6} \text{ ফুট পাউণ্ড}$$

উদা. 4. একটি 9 কিলোওয়াট ডায়নামো যদি কোন এঞ্জিনের সাহায্যে চালানো হয় তবে এঞ্জিনের অশ্ব ক্ষমতা ন্যূনপক্ষে কত হবে ?

9 কিলো-ওয়াট $=9\times\frac{4}{3}$ অশ্ব ক্ষমতা $(\because\ 1 \text{ K. W}=\frac{4}{3} \text{ H. P})$

$=12$ অশ্ব ক্ষমতা

$\therefore$ এঞ্জিনের অশ্ব ক্ষমতা অন্তত **12. H. P.**

উদা. 5. কোন বস্তুর গতিশক্তির পরিমাণ 1 জুল। যদি ওর উপর 1 মেগাডাইন প্রতিরোধ বল প্রযুক্ত হয় তবে বস্তুটি বলের বিরুদ্ধে কত দূর গিয়ে স্থির হবে ? (**উচ্চ মাধ্যমিক, 1954**)

ধর, প্রতিরোধ বল R এবং x দূরত্ব অতিক্রম করে বস্তুটি স্থির হবে।

$\therefore$ বস্তুর গতিশক্তি $=Rx$ $\therefore$ $Rx=1$ জুল $=10^7$ আর্গ

বা, 10^6 ডাইন $\times\, x=10^7$ আর্গ $(\because\ R=1$ মেগাডাইন)

$$\therefore\ x=\frac{10^7 \text{ আর্গ}}{10^6 \text{ ডাইন}}=10 \text{ সেমি.}$$

$\therefore$ বস্তুটি প্রতিরোধ বলের বিরুদ্ধে **10 সেমি.** গিয়ে থেমে যাবে।

উদা. 6. 100 গ্রাম ভরের একটি বস্তুর ভরবেগ 2000 গ্রাম. সেমি/সে.।

বস্তুর বেগ ও গতিশক্তি কত ? যদি ঐ ভরবেগ স্থিরাবস্থা থেকে 10 সেকেণ্ডে অর্জিত হয় তবে বস্তুর ত্বরণ এবং প্রযুক্ত বলের পরিমাণ নির্ধারণ কর।

(উচ্চ মাধ্যমিক, 1964)

প্রশ্নানুসারে, $2000 = 100 \times$ বেগ

$$\therefore \quad \text{বেগ} = \frac{2000}{100} = \mathbf{20} \text{ সেমি/সে}\cdot$$

$$\therefore \quad \text{গতিশক্তি} = \tfrac{1}{2} \times \text{ভর} \times \text{বেগ}^2$$

$$= \tfrac{1}{2} \times 100 \times (20)^2 \text{ আর্গ} = \mathbf{20{,}000} \text{ আর্গ}$$

$v = ft$ সমীকরণ থেকে $f = \frac{v}{t} = \frac{20}{10} = \mathbf{2}$ সেমি/সে.^{2}

$\therefore$ **বল** $P = mf =$ ভর $\times$ ত্বরণ $= 100 \times 2 =$ **200 ডাইন**

অনুশীলনী

1. কাজের সংজ্ঞা দাও। কাজ করা ও পরিশ্রম করার মধ্যে পার্থক্য কি ?

2. বলের দ্বারা কাজ করা ও বলের বিরুদ্ধে কাজ করা বলতে কি বোঝ ? উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।

3. কাজের এককগুলো কি কি ? কাজ কি ভেক্টর, না স্কেলার ?

4. শক্তি কি ? যান্ত্রিক শক্তি কয় প্রকার ও কি কি ? উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।

5. একটি বস্তুর ভর m এবং বেগ v ; ঐ বস্তুর গতিশক্তি কত ?

6. শক্তির বিভিন্ন এককগুলোর নাম লেখ। শক্তির রূপান্তর বলতে কি বোঝ ? কয়েকটি দৃষ্টান্ত দাও।

7. শক্তির নিত্যতা সূত্রটি কি ? দেখাও যে, কোন পতনশীল বস্তুর ক্ষেত্রে এই সূত্রটি প্রযুক্ত হয়।

8. দেখাও যে, কোন পতনশীল বস্তুর ক্ষেত্রে গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির যোগফল একটি ধ্রুবক।

9. অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি ও স্থিতিস্থাপকীয় স্থিতিশক্তি কি ? উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা কর। দেখাও যে, অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি $= mgh$ ($m =$ বস্তুর ভর, $h =$ উচ্চতা, $g =$ অভিকর্ষজ ত্বরণ)

10. ক্ষমতা কাকে বলে ? এফ. পি. এস. ও সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ক্ষমতার ব্যবহারিক এককগুলো কি কি ? ঐ এককগুলোর পারস্পরিক সম্পর্ক কি ?

11. পার্শ্বলিখিত বিষয়গুলোর সংজ্ঞা লেখ : জুল, ফুট-পাউণ্ড, ওয়াট এবং অশ্ব ক্ষমতা

12. ক্ষমতার সংজ্ঞা লেখ এবং প্রমাণ কর যে ক্ষমতা = বল × বেগ।

13. শূন্যস্থানগুলো পূরণ কর :

1 অশ্ব ক্ষমতা = — ওয়াট   1 অশ্ব ক্ষমতা = — ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড
1 কিলোওয়াট = — অশ্ব ক্ষমতা। 1 ফুট পাউণ্ড = — ফুট পাউণ্ডাল

14. একটি ইলেকট্রন কণিকাকে $2{\cdot}5 \times 10^{7}$ মিটার/সেকেণ্ড বেগ দিতে কি পরিমাণ কাজ করতে হবে? (ইলেকট্রনের ভর $= 9.11 \times 10^{-31}$ কিলোগ্রাম) [2.84×10^{-16} জুল]

15. 100 গ্রাম ভরের একটি বস্তুর ভরবেগ 2000 গ্রাম. সেমি/সে ; বস্তুটির গতিশক্তি কত? যদি বস্তুর ঐ ভরবেগ স্থিরাবস্থা থেকে 10 সেকেণ্ডে অর্জিত হয় তবে বস্তুর ত্বরণ ও প্রযুক্ত বল নির্ণয় কর। (**পঃ বঃ উঃ মাঃ 1964**) [2×10^{4} আর্গ ; 2 সেমি/সে^{2} ; 200 ডাইন]

16. একটি বস্তুর গতিশক্তি 1 জুল ; যদি ঐ বস্তুতে 1 মেগাডাইন প্রতিরোধ বল প্রযুক্ত হয় তবে বস্তুটি ঐ বলের বিরুদ্ধে কতদূর গিয়ে স্থির হবে? (**পঃ বঃ উ মাঃ 1964**) [10 সেমি]

17. 100 পাউণ্ড ভরের একটি বালক কোন সিঁড়ির 20 ধাপ উপরে উঠল। প্রতি ধাপের উচ্চতা 9 ইঞ্চি এবং উঠতে 5 সেকেণ্ড সময় লাগে। বালক কত অশ্ব ক্ষমতা প্রয়োগ করছে? (**পঃ বঃ উঃ মাঃ 1963**) [6/11]

18. একটি 5 অশ্ব ক্ষমতার এঞ্জিন পাতকুয়ো থেকে 30 ফুট উঁচুতে জল তোলার জন্য ব্যবহৃত হয়। যদি ইঞ্জিনের দক্ষতা 85% হয়, তবে প্রতি মিনিটে সে কত গ্যালন জল তুলবে? (1 গ্যালন জল = 10 lb জল) [467.5 গ্যালন]

19. 1 কিলো ভরের কোন বস্তুর বেগ 5 সেকেণ্ডে 5 সেমি/সে. থেকে 20 সেমি/সে.-এ পরিবর্তিত হল। এই পরিবর্তন আনতে বস্তুতে কি পরিমাণ কাজ করতে হয়েছে? (**পঃ বঃ উঃ মাঃ 1966**) [187500 আর্গ]

20. একটি ফোর্স পাম্প 1 মিনিটে 10 ফু/সে. বেগে 11,000 ঘন ফুট জল বিনির্গত করে। ঐ পাম্পের অশ্ব ক্ষমতা কত? 1 ঘনফুট জলের ওজন 62·5 পাউণ্ড। (**উৎকল 1956**) [32.6]

21. 1 আউন্স ওজনের একটি বুলেট 60 ফুট উঁচু একটি স্তম্ভশীর্ষ থেকে পড়ে কাদায় 5 ফুট ঢুকে থেমে গেল। কাদার গড় প্রতিরোধ বল নির্ণয় কর।

(পাটনা) [26 পাউণ্ডাল]

22. 100 টনের একটি রেল ইঞ্জিন ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে একটি অনুভূমিক রেলপথ দিয়ে চলছে। যদি রেলের সমান্তরালে প্রতিরোধ-বল টন প্রতি 15 পাউণ্ড-ভার হয় তবে এঞ্জিনের অশ্ব ক্ষমতা কত ?

(গৌহাটি 1959) [120]

23. 100 গ্রামের একটি ইস্পাতের বল 10 মিটার উঁচু থেকে পড়ল। ভূমি স্পর্শ করার সময় ওর বেগ কত ? ওর গতিশক্তিতে কি বৃদ্ধি ঘটল ?

[1400 সেমি/সে ; 98×10^6 আর্গ]

24. ভূ-পৃষ্ঠ থেকে 3/4 মাইল উর্ধ্বের মেঘ থেকে যে বৃষ্টি হল তাতে দেখা গেল যে $\frac{1}{2}$ বর্গ মাইল এলাকা $\frac{1}{2}$ ইঞ্চি পুরু হয়ে জলে ভর্তি হয়ে গেল। মেঘের স্থিতিশক্তির পরিমাণ কত ছিল ?

(কলিঃ বিশ্বঃ) [143748×10^6 ফুট পাউণ্ড]

পদার্থের সাধারণ ধর্ম
(General Properties of Matter)

মহাকর্ষ (Gravitation)

1.1 নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র (Newton's law of Gravitation)

জ্যোতির্বিদ টাইকো ব্রাহের পর্যবেক্ষণ এবং কেপলারের গ্রহগতি সংক্রান্ত সূত্রের উপর ভিত্তি করে পরমবিজ্ঞানী নিউটন সর্বপ্রথম মহাকর্ষ সম্পর্কে নিম্নোক্ত সূত্র দেন।

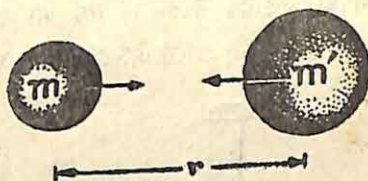
মহাকর্ষ সূত্র : ব্রহ্মাণ্ডের যে কোন বস্তুকণা একে অন্যকে আকর্ষণ করে। এই আকর্ষণ বলের মান বস্তুদ্বয়ের ভরের গুণফলের সমানুপাতিক এবং বস্তুদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

ধর, m, m' বস্তুকণা দুটির ভর, r ওদের মধ্যবর্তী দূরত্ব। তা হলে, ওদের পারস্পরিক আকর্ষণ বল F হলে, মহাকর্ষ সূত্রানুসারে,

$$F \propto m\,m'$$

এবং $F \propto \frac{1}{d^2}$

$$\therefore \quad F \propto \frac{m\,m'}{d^2}$$

বা $\quad F = G.\,\frac{mm'}{d^2} \quad ...(1)$

চিত্র 1

এখানে G= একটি ধ্রুবক। এই ধ্রুবকটিকে **মহাকর্ষীয় ধ্রুবক** (Gravitational constant) বলে।

(1) নং সমীকরণের তাৎপর্য সম্পর্কে ধারণা স্পষ্ট থাকা উচিত। এই সমীকরণ বস্তুদ্বয়ের পারস্পরিক আকর্ষণ বলের পরিমাণ জ্ঞাপন করে। কাজেই একটি বস্তুকণার, ধর m'-র অন্যের অভিমুখে ত্বরণ হল Gm/r^2 ; অনুরূপভাবে m'-র অভিমুখে m-র ত্বরণ হল Gm'/r^2। লক্ষ্য কর যে পারস্পরিক আকর্ষণ বল এক হলেও বস্তুদ্বয়ের ত্বরণ কিন্তু ভিন্ন। **আকৃষ্ট বস্তুকণার ত্বরণ আকর্ষণকারী বস্তুর ভরের সমানুপাতী।**

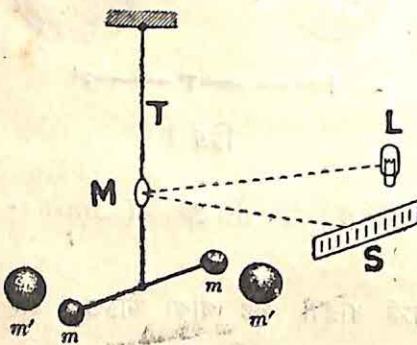
1.2 মহাকর্ষীয় ধ্রুবক (Gravitational Constant)

(1)নং সমীকরণে $m=m'=1$ এবং $r=1$ ধরলে $F=G$; কাজেই **দুটি একক ভরের বস্তুকণা একক দূরত্বে অবস্থানকালে যে বলে পরস্পর আকৃষ্ট হয়, মহাকর্ষ ধ্রুবক তার মান নির্দেশ করে।**

মহাকর্ষ ধ্রুবক নিছক একটি ধ্রুব সংখ্যা নয়। এর মান বস্তুর ভর, দূরত্ব ও আকর্ষণ বলের এককের উপর নির্ভরশীল। G-র সর্বজনগ্রাহ্য বর্তমান মানের নিরূপক বিজ্ঞানী পি. আর. হেইল এবং গৃহীত মান হল, সি. জি. এস পদ্ধতিতে, $G = 6.670 \times 10^{-8}$ সেমি^{3}. গ্রাম$^{-1}$ সেকেণ্ড$^{-2}$

অর্থাৎ 1 গ্রাম ভরের দুটি বস্তুকণা যখন পরস্পর 1 সেমি দূরে অবস্থিত হয় তখন ওরা পরস্পরকে 6.670×10^{-8} ডাইন বলে আকর্ষণ করে।

মহাকর্ষ ধ্রুবক নির্ণয় (Determination of G) : নানা সময়ে নানা বিজ্ঞানী নানাভাবে (1) নং সমীকরণকে ব্যবহার করে G-র মান নির্ণয় করেছেন। নির্ণয়ের পদ্ধতি সম্পর্কে সাধারণভাবে আলোকপাত করার উদ্দেশ্যে বিশদ বর্ণনা বর্জন করে কেবলমাত্র রূপরেখায় একটি পদ্ধতির উল্লেখ করা হল।

বিজ্ঞানী ক্যাভেণ্ডিস G-র মান নির্ণয়ের জন্য পাশ্ববর্তী চিত্রের অনুরূপ একটি ব্যবস্থা উদ্ভাবন করেন। m, m দুটি সমভরের ক্ষুদ্র গোলকাকার বস্তু। একটি হাল্কা দণ্ডের দুই প্রান্তে এদের বসানো থাকে। মধ্যবিন্দুতে একটি কোয়ার্জ সুতো T দ্বারা দণ্ডটি ঝুলানো হয়। M একটি দর্পন। একটি আলোক উৎস L থেকে আলো M দর্পণে প্রতিফলিত হয়ে একটি স্কেল S-র শূন্য দাগে গিয়ে পড়ে। m', m' দুটি সমভরের অপেক্ষাকৃত ভারি গোলকাকার বস্তু। এরা m ও m বস্তু দুটির সমান উচ্চতায় দণ্ডের সঙ্গে লম্বভাবে মুখোমুখি থাকে।

চিত্র 2

m ও m'-এর মধ্যে আকর্ষণের ফলে দণ্ডটি ঘুরে যায়। দণ্ডের পাক ঐ ঘূর্ণন বন্ধ করতে চায়। ফলে ঘূর্ণনে সাম্য আসে এবং সাম্যাবস্থায় ঘূর্ণনের পরিমাণ স্কেলে আলোকবিন্দুর সরণ থেকে জানা যায়।

ধর, m ও m' এর মধ্যে দূরত্ব r, θ হল সাম্যাবস্থায় দণ্ডের ঘূর্ণন। তা হলে, m ও m'-র আকর্ষণে উৎপন্ন টর্ক η-র পরিমাণ হল :

$$\eta = G\,\frac{mm'}{r^2}.2l \quad (\,2l = \text{দণ্ডের দৈর্ঘ্য}\,)$$

আবার, $\eta \propto \theta$; $\therefore\ \eta = \mu\theta$, μ = একটি ধ্রুবক।

$$\therefore\ \text{সাম্যাবস্থায়}\quad G\frac{mm'}{r^2}.2l = \mu\theta$$

কোয়ার্জ-এর μ-র মান এবং $m, m', 2l, r$ ইত্যাদির মান জানা থাকায় G-র মান সহজেই বের করা চলে।

1.3 বিস্তৃত বস্তুর ক্ষেত্রে মহাকর্ষ

(Gravitational attraction for extended bodies)

(1) নং সমীকরণটি শুধু বস্তুকণার ক্ষেত্রেই—অর্থাৎ যে বস্তুর বিস্তৃতি নেই—প্রযোজ্য। কিন্তু বস্তুর বিস্তৃতি থাকলে বস্তুদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব নির্ণয়ে অসুবিধা দেখা দেয়। বিস্তৃত বস্তুর ক্ষেত্রে উভয়ের দূরত্ব কিভাবে ঠিক করা হবে? সম-ঘনত্বের গোলকাকার বস্তুর ক্ষেত্রে দেখানো যায় যে, মধ্যবর্তী দূরত্ব হল দুই গোলকের কেন্দ্রবিন্দুর দূরত্ব। এই কারণে, জ্যোতিষ্কদের ক্ষেত্রে মহাকর্ষের ব্যস্ত বর্গের সূত্রটি সরাসরি প্রয়োগ করা চলে।

কিন্তু গোলক ছাড়া অন্যান্য বিস্তৃত বস্তুর ক্ষেত্রে কি হবে? এক্ষেত্রে (1) নং সমীকরণ সরাসরি ব্যবহার করা যাবে না। বিস্তৃত বস্তুগুলোকে বহু সংখ্যক বস্তুকণার সমবায়রূপে ধরে নিয়ে প্রতি জোড়া বস্তুকণার ক্ষেত্রে মহাকর্ষ বল বের করে তাদের ভেক্টরীয় সমষ্টি নিতে হবে। নিউটন এ সম্পর্কে সচেতন ছিলেন এবং এই জাতীয় সমস্যা সমাধানের জন্যই পরবর্তীকালে তাঁকে ক্যালকুলাস বা কলনশাস্ত্র উদ্ভাবন করতে হয়।

তবে বস্তুর বিস্তৃতি যদি মধ্যবর্তী দূরত্বের তুলনায় উপেক্ষণীয় হয়, তা হলে বস্তুদ্বয়ের ভরকেন্দ্রের দূরত্বকেই মধ্যবর্তী দূরত্ব বলে ধরা চলে।

1.4 মহাকর্ষের সার্বজনীনতা (Universality of Gravitation)

নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র ব্রহ্মাণ্ডের সর্বত্রই প্রযুক্ত। নিউটন নিজেই পৃথিবীর চারপাশে প্রায়-বৃত্ত কক্ষপথে চাঁদের পরিক্রমণকে চাঁদের উপর পৃথিবীর মহাকর্ষ বলের সাহায্যে ব্যাখ্যা করেন। সূর্যের চারধারে গ্রহদের বার্ষিক পরিক্রমণও মহাকর্ষ সূত্রের সাহায্যে সন্তোষজনকভাবে ব্যাখ্যা করা যায়। বিজ্ঞানী লেভেরিয়ার

ও অ্যাডমস এই সূত্র প্রয়োগ করে তৎকালে অনাবিষ্কৃত নেপচুন গ্রহের অস্তিত্বের ভবিষ্যদবাণী করেন এবং ঐ সূত্রের সাহায্যে নেপচুনের অবস্থান নির্ণয় করেন।

তা ছাড়া, পরীক্ষাগারের পরীক্ষা থেকে দেখা যায় যে, দুই বস্তুর অন্তবর্তী স্থানের মাধ্যমের প্রকৃতির উপর ওদের পারস্পরিক বল নির্ভর করে না। সূত্রেও মাধ্যমের প্রকৃতির প্রভাবের কোন উল্লেখ নেই। আকর্ষণ বল বস্তুদ্বয়ের আণবিক গঠন বা অণুর প্রকৃতির উপরও নির্ভর করে না। মহাকর্ষ বল কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় পদার্থের ভৌত অবস্থা নিরপেক্ষভাবে নিউটন সূত্র থেকে পাওয়া যায়। মাধ্যমের উষ্ণতা, চাপ, অথবা অন্য কোন ভৌতিক অবস্থার উপরও মহাকর্ষ সূত্র নির্ভরশীল নয়। এ থেকে আমরা এই সিদ্ধান্তে আসি যে, মহাকর্ষ বল কেবল মাত্র বস্তুদ্বয়ের ভর ও তাদের ব্যবধানের উপর নির্ভরশীল। এই হিসাবে নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রকে **সার্বজনীন** (Universal) বলা হয়।

সম্প্রতি বুধগ্রহের অপসূরের গতি এবং সূর্য বর্তৃক আলোর গতিপথে বক্রতা সৃষ্টি জাতীয় কিছু ঘটনার ব্যাখ্যায় নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রের অসম্পূর্ণতা প্রকাশ পেয়েছে। এই পরিপ্রেক্ষিতে আইনস্টাইন তাঁর সাধারণ আপেক্ষিক তত্ত্ব দিয়ে এগুলোর সুষ্ঠু ব্যাখ্যা দিয়েছেন।

1.5. পৃথিবীর মহাকর্ষ : অভিকর্ষ
(Gravitational attraction of earth : gravity)

পৃথিবী একটি অতিকায় গোলকাকার জড়বস্তু। কাজেই মহাকর্ষের সূত্রানুসারে পৃথিবী ভূ-পৃষ্ঠ এবং সন্নিকটস্থ অন্যান্য বস্তুকে নিজের দিকে আকর্ষণ করবে।

ধর, $M=$ পৃথিবীর ভর, $R=$ পৃথিবীর ব্যাসার্ধ (পৃথিবীকে একটি সমসত্ত্ব গোলক ধরা হচ্ছে), $m=$ ভূ-পৃষ্ঠস্থ কোন বস্তুকণার ভর। তাহলে, পৃথিবী ঐ বস্তুকে যে বলে আকর্ষণ করবে তার পরিমাণ হল

$$W=G\ \frac{Mm}{R^2} \quad \ldots\ldots (2)$$

এই বলকে **পৃথিবীর মহাকর্ষ বল** বা **অভিকর্ষ বল** (force of gravity) বলে। এই **বলের অভিমুখী ভু-কেন্দ্রের** দিকে এবং এর **প্রয়োগবিন্দু আকৃষ্ট বস্তুর ভারকেন্দ্রে**। এই বলের ফলে আকৃষ্ট বস্তুটি একটি **নিম্নমুখী ত্বরণ** লাভ করে এবং বাধা না পেলে ঐ ত্বরণযুক্ত বেগে ভূ-কেন্দ্রের দিকে চলতে থাকে।

এদিকে, কোন বস্তু যে বলে পৃথিবী দ্বারা আকৃষ্ট হয় তাকে ঐ বস্তুর ভার বা ওজন বলে। কাজেই, অভিকর্ষ বলই হল বস্তুর **ওজন বা ভার**।

নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র অনুসারে,

বস্তুর উপর অভিকর্ষ বল বা ওজন = বস্তুর ভর × উৎপন্ন ত্বরণ.

বা $$W = mg \quad \ldots\ldots (3)$$

(2) ও (3) নং সমীকরণকে একত্র করে

$$mg = G\frac{Mm}{R^2}$$

বা $$g = G\frac{M}{R^2} \quad \ldots\ldots (4)$$

অভিকর্ষের ফলে কোন বস্তুতে উৎপন্ন নিম্নাভিমুখী ত্বরণ g-কে **অভিকর্ষজ ত্বরণ** (acceleration due to gravity) বলে। R-কে ধ্রুবক ধরলে স্পষ্টত g একটি ধ্রুবক। এই প্রসংগে 1-7 অনুচ্ছেদ দেখ।

1.5 পৃথিবীর গড় ঘনত্ব ও ভর

(Mean density and mass of earth)

(4) নং সমীকরণ থেকে $$g = G\frac{M}{R^2} \quad \ldots\ldots (4a)$$

এখন G, g ও R-র মান জানা আছে। কাজেই পৃথিবীর ভর অনায়াসে জানা যায়।

ধর, $g = 980$ সেমি/সে.^{2}, $G = 6{\cdot}67 \times 10^{-8}$ সি. জি. এস একক এবং $R = 6{\cdot}367 \times 10^8$ সেমি।

$$\therefore \quad M = g.\frac{R^2}{G} = 980 \times \frac{(6{\cdot}367 \times 10^8)^2}{6{\cdot}67 \times 10^{-8}}$$

$$= 5{\cdot}96 \times 10^{27} \text{ গ্রাম}$$

আবার, পৃথিবীর গড় ঘনত্ব ρ হলে এবং পৃথিবীকে একটি গোলক ধরলে

$$M = \tfrac{4}{3}\pi R^3 \rho \quad \ldots\ldots (4b)$$

(4a) ও (4b) থেকে, $$g = \tfrac{4}{3}\pi\rho G R \quad \ldots\ldots (4c)$$

$$\therefore \quad \rho = \frac{3g}{4\pi G R} = \frac{3 \times 980}{4 \times 3{\cdot}14 \times 6{\cdot}67 \times 10^{-8} \times 6{\cdot}367 \times 10^8}$$

$$= 5{\cdot}5 \text{ গ্রাম/সি.সি}$$

1.6 অভিকর্ষজ ত্বরণের হ্রাসবৃদ্ধি

(Variation in the value of g)

অভিকর্ষজ ত্বরণের হ্রাসবৃদ্ধি আলোচনায় বস্তুর তিনটি অবস্থান বিবেচনা করা হচ্ছে : (i) ভূ-পৃষ্ঠ থেকে উর্ধ্বে, (ii) ভূ-গোলকের অভ্যন্তরে এবং (iii) ভূ-পৃষ্ঠে।

(i) ভূ-পৃষ্ঠ থেকে উর্ধ্বে : ধর, ভূ-পৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান g, ভূ-পৃষ্ঠ থেকে h উর্ধ্বে g'। তা হলে (4) নং সমীকরণ থেকে

$$g = GM/R^2 \qquad \ldots\ldots(5)$$

এবং $$g' = GM/(R+h)^2 \qquad \ldots\ldots(6)$$

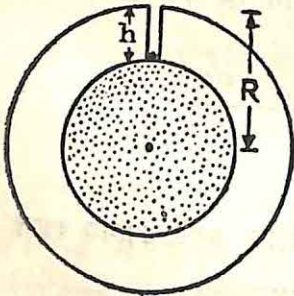
(6) নং সমীকরণ থেকে স্পষ্টত **ভূ-পৃষ্ঠ থেকে উর্ধ্বে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান ভূ-কেন্দ্র থেকে দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতী।** অর্থাৎ **যতই উর্ধ্বে যাওয়া যায় g এর মান তত হ্রাস পায়।**

(5) ও (6) থেকে $\dfrac{g}{g'} = \dfrac{(R+h)^2}{R^2} = \left(1 + \dfrac{2h}{R}\right)$; যদি $h \leqslant R$ হয়।

$$\therefore \quad g' = g\left(1 - \frac{2h}{R}\right) \qquad \ldots\ldots(7)$$

অর্থাৎ উচ্চতা h যত বাড়তে থাকে তত g' কমতে থাকে এবং হ্রাসের হার

$$\frac{g' - g'}{g} = -\frac{2h}{R}.$$

(ii) ভূ-গোলকের অভ্যন্তরে : আগের মতো, ধর, g ও g' যথাক্রমে ভূ-পৃষ্ঠে এবং ভূ-গোলকের অভ্যন্তরে h গভীরতায় অভিকর্ষজ ত্বরণের মান।

গাণিতিক বিবেচনায় প্রমাণ করা যায় যে, বস্তুটি যখন ভূ-পৃষ্ঠ থেকে h গভীরতায় অবস্থান করে, তখন h-গভীরতা পর্যন্ত পৃথিবীর অংশের ভর ঐ বস্তুতে কোন আকর্ষণ বল প্রয়োগ করে না। কাজেই, বস্তুটির উপর অভিকর্ষজ বল $(R-h)$ ব্যাসার্ধের ভূ-গোলকের জন্যে।

চিত্র 3

$\therefore$ (4) নং সমীকরণ থেকে $$g' = G\frac{M'}{(R-h)^2}.$$

$M' = (R-h)$ ব্যাসার্ধের ভূ-গোলকের ভর।

কিন্তু $M' = \frac{4}{3}\pi(R-h)^3\rho$, ρ = পৃথিবীর গড় ঘনত্ব।

$$\therefore \quad g' = G.\frac{\frac{4}{3}\pi(R-h)^3\rho}{(R-h)^2} = \frac{4}{3}\pi G\rho(R-h)$$

কিন্তু $g = \frac{4}{3}\pi\rho GR$; $\quad \therefore \frac{g'}{g} = \frac{R-h}{R} = \left(1-\frac{h}{R}\right)$

$$\text{বা} \quad g' = g\left(1-\frac{h}{R}\right) \quad \ldots\ldots(8)$$

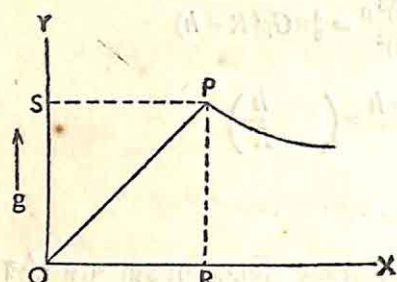
(8) নং সমীকরণ থেকে স্পষ্টত **যত ভূ-কেন্দ্রের দিকে যাওয়া যায় g'-র মান তত কমতে থাকে** (সেই সঙ্গে বস্তুর ওজন ও) এবং ভূ-কেন্দ্রে $h = R$ বলে সেখানে $g' = 0$ অর্থাৎ **ভূ-কেন্দ্রে অভিকর্ষজ ত্বরণ** (কাজেই ওজন) **লোপ পায়।**

(iii) ভূ-পৃষ্ঠে : ভূ-পৃষ্ঠেও স্থান থেকে স্থানান্তরে অভিকর্ষজ ত্বরণের মানের হ্রাসবৃদ্ধি ঘটে। এর কারণ দুটি : (a) **পৃথিবীর আকার** এবং (b) **পৃথিবীর আবর্তন।**

(a) পৃথিবী একটি সম্পূর্ণ গোলক নয়—উত্তর দক্ষিণে কিছুটা চাপা। ফলে, যতই মেরুবিন্দু থেকে বিষুবরেখার দিকে যাওয়া যায় ততই R-র মান বাড়তে থাকে এবং $g = GM/R^2$ সূত্র থেকে স্পষ্টত g-এর মান কমতে থাকে। একে বলা হয় **অক্ষাংশের প্রভাব** (latitude effect)। কোন স্থানের অক্ষাংশ λ হলে দেখানো যায় যে,

$$(g)_\lambda = 980{\cdot}51 - 0{\cdot}025 \cos 2\lambda$$

(b) নিজ অক্ষের চারধারে পৃথিবীর আবর্তনের ফলে ভূ-পৃষ্ঠের সব বস্তুই (মেরু বিন্দুস্থ বস্তু ছাড়া) বৃত্তপথে ঘোরে। বৃত্তগুলির কেন্দ্র পৃথিবীর অক্ষের উপর অবস্থিত। এই ঘূর্ণনের জন্য প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল (যা বস্তুর ওজনের তুলনায় খুবই কম) অভিকর্ষই জোগায়। বিষুবরেখায় অবস্থিত বস্তুর ক্ষেত্রে এই অভিকেন্দ্র বলের পরিমাণ সবচেয়ে বেশি এবং যত মেরু বিন্দুর দিকে যাওয়া যায় তত কমতে থাকে। কাজেই অভিকর্ষ বলের অবশিষ্টাংশ বিষুবরেখায় সবচেয়ে কম এবং মেরুর দিকে ক্রমে বাড়তে থাকে। তাই **পৃথিবীর আবর্তনের দরুন g-র মান বিষুবরেখা থেকে মেরুর দিকে ক্রমে বৃদ্ধি পায়।**

লক্ষ্য কর যে, (a) ও (b)-তে উল্লিখিত কারণের প্রভাব একই-মুখী। ফলে উভয়ের যুগ্ম প্রভাবে দেখা যায় যে, বিষুবরেখায় যে বস্তুর ওজন 1 টন, মেরু বিন্দুতে তার ওজন প্রায় 13.5 পাউণ্ড বেশি। λ-অক্ষাংশে আবর্তনের ফলে দেখানো যায় যে,

ভূ-কেন্দ্র থেকে দূরত্ব →

চিত্র 4

$$(g)_\lambda = g - \omega^2 R\cos^2\lambda$$

$$= g\left(1 - \cos^2\lambda \frac{\omega^2 R}{g}\right)$$

$$= g(1 - \cos^2\lambda/288)$$

($\because$ $\omega^2 R/g = 1/288$) ; ω = পৃথিবীর ঘূর্ণন বেগ, R = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ।

ভূ-কেন্দ্র থেকে দূরত্বের সঙ্গে অভিকর্ষজ ত্বরণ কিভাবে পরিবর্তিত হয় তা লেখ-র সাহায্যে 4-নং চিত্রে দেখান হল। ভূ-কেন্দ্র থেকে ভূ-পৃষ্ঠ অবধি পরিবর্তন (বৃদ্ধি) রৈখিক (OP), তারপর ভূ-পৃষ্ঠ থেকে উর্ধ্বে g-র হ্রাস দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতী। ভূ-পৃষ্ঠে g-র মান $= PR$; OR = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ।

1.8 পতনশীল বস্তুর সূত্র

(Laws of falling bodies

আগেই বলা হয়েছে যে, অভিকর্ষের ফলে কোন বস্তুকে স্থির অবস্থান থেকে ছেড়ে দিলে ক্রমর্ধমান বেগে নিচের দিকে নামে। এই অবতরণ নিম্নোক্ত তিনটি সূত্র অনুসারে ঘটে। বিজ্ঞানী গ্যালিলিও সর্বপ্রথম পরীক্ষামূলকভাবে সূত্র তিনটির সত্যতা নির্ধারণ করেন। এজন্য সূত্রগুলিকে **গ্যালিও-র সূত্র** নামেও অভিহিত করা হয়।

প্রথম সূত্র (First law): **বায়ুশূন্য স্থানে কোন স্থির অবস্থান থেকে অবাধে অবতরণকালে বিভিন্ন ভরের বস্তু সমদ্রুততায় নেমে আসে অর্থাৎ একই সময়ে নিচে এসে পৌঁছয়।**

প্রথম সূত্রের অর্থ হল: অবাধ অবতরণকালে বস্তুগুলির অভিকর্ষজ ত্বরণ সমান অর্থাৎ পড়ন্ত বস্তুর ক্ষেত্রে g একটি ধ্রুবক।

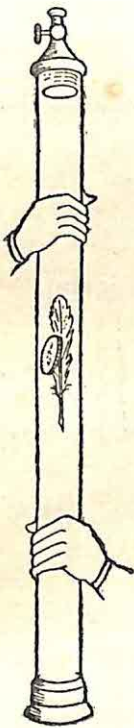
দ্বিতীয় সূত্র (Second law): **বায়ুশূন্য স্থানে স্থির অবস্থান থেকে**

অবাধে অবতরণকালে কোন বস্তু নির্দিষ্ট সময়ে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তা সময়ের বর্গের সমানুপাতিক। অর্থাৎ $h \propto t^2$.

এই সূত্রটি বস্তুতঃ $h=\frac{1}{2}gt^2$ সমীকরণ থেকে প্রমাণিত হয়। যেহেতু কোন স্থানে g ধ্রুবক, অতএব $h \propto t^2$.

তৃতীয় সূত্র (Third law)ঃ বায়ুশূন্য স্থানে স্থির অবস্থান থেকে অবাধে অবতরণকালে পড়ন্ত বস্তু নির্দিষ্ট সময়ে যে বেগ অর্জন করে তা ঐ সময়ের সমানুপাতিক। অর্থাৎ $v \propto t$.

এই সূত্রটি বস্তু $v=gt$ সমীকরণ থেকে প্রমাণিত হয়। যেহেতু কোন স্থানের g ধ্রুবক, অতএব $v \propto t$.

প্রথম সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ: গ্যালিলিও তাঁর বিখ্যাত গিনি ও পালক পরীক্ষায় অবিসংবাদিতভাবে প্রথম সূত্রটি প্রমাণ করেন।

প্রায় এক মিটার লম্বা একটা কাচনলের মধ্যে একটি গিনি ও একটি পালক ঢুকিয়ে নলের দু-মুখ বন্ধ করে দেওয়া হল। এক মুখে থাকে একটি স্টপকক। নলটি হঠাৎ উল্টে দিয়ে দেখা গেল, পালকের অনেক আগে গিনি বিপরীত প্রান্তে এসে পৌছল। এবারে স্টপকক খুলে বায়ু নিষ্কাশক যন্ত্র লাগিয়ে নলের বায়ু বের করে নেওয়া হল এবং ফের স্টপকক বন্ধ করে দেওয়া হল। নলটি আবার হঠাৎ উল্টে দেখা গেল, পালক ও গিনি একই সঙ্গে বিপরীত প্রান্তে এসে পৌছল। বায়ুর প্রতিরোধ না থাকায় ভরের বৈষম্য সত্ত্বেও উভয়ে সমদ্রুততায় অবতরণ করল।

চিত্র 5

19 অভিকর্ষাধীন গতি সম্পর্কীয় সমীকরণ (Equations of motion under gravity)

ভূ-পৃষ্ঠে ও সন্নিকটবর্তী স্থানে g-কে ধ্রুবক ধরা চলে। এজন্য অভিকর্ষাধীন গতি সম-ত্বরণবিশিষ্ট গতির পর্যায়ভুক্ত। এই হিসাবে গতিবিদ্যার সমীকরণগুলিতে f এর স্থলে g, s এর স্থলে h (উচ্চতা) বসিয়ে সহজেই অভিকর্ষাধীন গতির সমীকরণ পাওয়া যায়।

ধর, প্রারম্ভিক বেগ $u=0$ এবং h উচ্চতা থেকে বস্তুটি g-ত্বরণে নিচে নামছে। এস্থলে নির্ণেয় সমীকরণগুলো হবে

$v=ft$ স্থলে $v=gt$ ......(i)

$s=\frac{1}{2}ft^2$ স্থলে $h=\frac{1}{2}gt^2$ ......(ii)

$v^2=2fs$ স্থলে $v^2=2gh$ ......(iii)

আবার, ধর, u প্রারম্ভিক বেগে কোন বস্তু ঊর্ধ্বদিকে উঠছে। এস্থলে g-নিম্নাভিমুখী, সরণ ঊর্ধ্বাভিমুখী। অতএব অভিকর্ষের বিরুদ্ধে বস্তুর গতির সমীকরণগুলো হবে :

$v=u+ft$ স্থলে $v=u-gt$ ......(iv)

$s=ut+\frac{1}{2}ft^2$ স্থলে $h=ut-\frac{1}{2}gt^2$ ......(v)

$v^2=u^2+2fs$ স্থলে $v^2=u^2-2gh$ ......(vi)

কয়েকটি প্রয়োজনীয় অনুসিদ্ধান্ত (Important corollaries)

অনু. 1. সর্বোচ্চ অবস্থানে ওঠার সময় T.

স্পষ্টত সর্বোচ্চ অবস্থানে বস্তুর বেগ $v=0$

$\therefore\ 0=u-gT \qquad \therefore\ T=u/g$ ......(vii)

লক্ষ্য কর, $T \propto u$.

অনু. 2. সর্বোচ্চ অবস্থানের মান H.

সর্বোচ্চ অবস্থানে বেগ $v=0$; চরম উচ্চতা H হলে

$0=u^2-2gH \qquad \therefore\ H=u^2/2g$ ......(viii)

লক্ষ্য কর, $H \propto u^2$.

অনু. 3. সর্বোচ্চ স্থান থেকে পতনের সময় T'.

সর্বোচ্চ অবস্থানে বেগ $v=0$ এবং বস্তু তখন সাময়িকভাবে H উচ্চতায় অবস্থিত। কাজেই (v) নং সমীকরণ থেকে

$H=\frac{1}{2}\ gT'^2 \qquad \therefore\ T'^2=\frac{2H}{g}$; কিন্তু, $H=u^2/2$,

$$\therefore\ T'^2=2.\frac{u^2/g}{2g}=u^2/g^2$$

$$\therefore\ T'=\frac{u}{g}=T$$

কাজেই অভিকর্ষের বিরুদ্ধে সর্বোচ্চ বিন্দুতে পৌছতে যে সময় লাগে, ঐ স্থান থেকে আবার নিচে ফিরে আসতেও সেই সময় লাগে।

অনু. 4. বস্তুর গতিকালীন অতিবাহিত মোট সময় (time of flight) τ.

স্পষ্টত $\tau = T + T' = \dfrac{u}{g} + \dfrac{u}{g} = \dfrac{2u}{g}$

1.10 সরল দোলক (Simple pendulum)

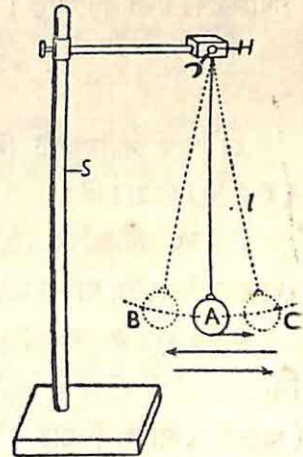
যখন একটি ভারি অথচ ছোট পিণ্ড (bob)-কে একটি সূক্ষ্ম পাকশূন্য ও উপেক্ষণীয় ওজনের সুতোর দ্বারা কোন দৃঢ় অবলম্বন থেকে ঝোলানো হয় তখন সমস্ত ব্যবস্থাটিকে একটি **সরল দোলক** বলে (চিত্র 6)।

যে বিন্দু থেকে দোলকটি ঝোলানো হয় তাকে **ঝুলন বিন্দু** (point of suspension) বলে। আর, পিণ্ডের ভারকেন্দ্রকে (যেহেতু সুতোর ওজন উপেক্ষণীয়) দোলকের **দোলন কেন্দ্র** (centre of oscilation) বলা হয়। চিত্রে H, A যথাক্রমে ঝুলন কেন্দ্র ও দোলন বিন্দু।

দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য (Effective length) : দোলকের ঝুলন বিন্দু এবং দোলন কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব বা ব্যবধানকে দোলকের **কার্যকর দৈর্ঘ্য** বলে। চিত্রে $HA = l =$ কার্যকর দৈর্ঘ্য।

দোলকের বিশ্রাম অবস্থান (Position of rest) : কোনরূপ আন্দোলিত না হয়ে দোলক যে অবস্থানে ঝুলে থাকে তাকে দোলকের বিশ্রাম-অবস্থান বলে। চিত্রে HA বরাবর রেখাটি বিশ্রাম-অবস্থান।

দোলকের গতি (Motion of a pendulum) : বিশ্রাম-অবস্থান থেকে দোলকটিকে কিছুটা পাশে টেনে ছেড়ে দিলে বিশ্রাম অবস্থানের এদিকে-ওদিকে সে সমবিস্তারে দোল খায়। এই দোলগতি সরল দোলগতি (S. H. M.)। সরল দোলগতির সংজ্ঞা ও ব্যাখ্যার জন্য 'শব্দবিজ্ঞান' অংশ দেখ।

দোলকের বিস্তার (Amplitude) : বিশ্রাম অবস্থান থেকে দোলকের সর্বোচ্চ প্রান্তীয় অবস্থানের দূরত্বকে দোলকের **রৈখিক বিস্তার** বলে। বস্তুত, দোলনকালে পিণ্ডটি একটি বৃত্তচাপ সৃষ্টি করে। এর দৈর্ঘ্য এত কম যে, ঐ চাপকে সরলরেখা ধরা যায়। ঐ হিসাবে চিত্রে $BA = CA =$ রৈখিক-বিস্তার।

চিত্র 6

ঝুলন বিন্দুতে বিশ্রাম অবস্থান রেখার সঙ্গে HC বা HB যে কোণ উৎপন্ন করে তাকে কৌণিক বিস্তার θ বলা হয়।

পূর্ণ দোলন ও দোলন কাল (Complete oscillation & time period) এক প্রান্ত থেকে যাত্রা করে বিশ্রাম-অবস্থানের মধ্য দিয়ে দোলকের বিপরীত প্রান্তে গমন এবং আবার ঐ প্রান্ত থেকে বিশ্রাম-অবস্থান দিয়ে প্রথম প্রান্তে ফিরে আসাকে দোলকের **পূর্ণ দোলন** বলে। 6-নং চিত্রে C থেকে A দিয়ে B-তে যাওয়া এবং পুনরায় B থেকে A-দিয়ে C-তে ফিরে আসাকে দোলকের একটি পূর্ণ দোলন বলা হবে।

একটি পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করতে দোলক যে সময় নেয় তাকে **দোলন কাল** বা **পর্যায় কাল** (time period) T বলে। দোলন কালের অন্যোন্যক অর্থাৎ $1/T$-কে **কম্পাঙ্ক** (frequency of oscillation) n বলা হয়। অর্থাৎ 1 সেকেণ্ডে যে কটি পূর্ণ দোলন ঘটে তা-ই কম্পাঙ্ক এবং $n=1/T$.

1.11 সরল দোলকের নিয়ম (Laws of simple pendulum)

গাণিতিক বিবেচনায় প্রমাণ করা যায় যে, l কার্যকর দৈর্ঘ্যের কোন সরল দোলকের দোলনকাল T ঐ স্থানের অভিকর্ষ ত্বরণ g-র সঙ্গে নিম্নোক্ত সমীকরণের দ্বারা সম্পর্কযুক্ত।

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad \cdots\cdots(9)$$

যে শর্তে সমীকরণটি সিদ্ধ হয় তা হল, দোলকের কৌণিক বিস্তার খুব ছোট ($\theta<4^\circ$) হওয়া চাই।

(9) নং সমীকরণটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ; কেননা, এ থেকে সরল দোলকের দোলনের সূত্রগুলো পাওয়া যায়।

প্রথম সূত্র : সম-দোলন কালের সূত্র (Law of isochronism)— **নির্দিষ্ট স্থানে নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের কোন দোলক বিস্তার নিরপেক্ষভাবে** (অবশ্যই কৌণিক বিস্তার 4°-র কম) **সম-সময় অন্তর সম-সংখ্যক দোলন সম্পাদন করে।**

(9) নং সমীকরণ থেকে, l এবং g অপরিবর্তিত থাকলে $T=$ ধ্রুবক। প্রথম সূত্রে এ কথাই বলা হয়েছে।

দ্বিতীয় সূত্র : দৈর্ঘ্যের সূত্র (Law of length)—**কোন নির্দিষ্ট স্থানে**

সরল দোলকের দোলনকাল ওর কার্যকর দৈর্ঘ্যের বর্গমূলের সমানুপাতী। অর্থাৎ $T \propto \sqrt{l}$, যখন g = ধ্রুবক।

(9) নং সমীকরণ থেকেও $T \propto \sqrt{l}$, যখন g = ধ্রুবক।

তৃতীয় সূত্র ঃ অভিকর্ষের সূত্র (Law of gravity)—বিভিন্ন স্থানে কোন নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের দোলকের দোলনকাল ঐ ঐ স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতী। অর্থাৎ $T \propto 1/\sqrt{g}$, যখন l = ধ্রুবক।

(9) নং সমীকরণ থেকেও $T \propto 1/\sqrt{g}$, যখন l = ধ্রুবক।

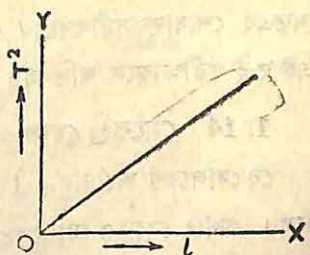
চতুর্থ সূত্র ঃ ভরের সূত্র (Law of mass)—কোন নির্দিষ্ট স্থানে বিভিন্ন উপাদান ও ভরবিশিষ্ট, কিন্তু একই কার্যকর দৈর্ঘ্যের দোলকের দোলনকাল সমান। অর্থাৎ দোলনকাল দোলকের উপাদান বা ভরের উপর নির্ভর করে না।

(9) নং সমীকরণে দোলকের ভর বা উপাদান অন্তর্ভুক্ত হয়নি। কাজেই দোলনকাল ভর ও উপাদান নিরপেক্ষ।

1. 12 দোলকের নিয়মের পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Experimental verification of the laws)

পরিবর্তনশীল দৈর্ঘ্যের একটি দোলক ও একটি স্টপওয়াচের সাহায্যে সহজেই দোলকের নিয়মগুলোর সত্যতা পরীক্ষামূলকভাবে যাচাই করা যায়।

প্রথম সূত্র ঃ প্রথম সূত্রের সত্যতা যাচাই-এর জন্য 4°-এর মধ্যে রেখে বিভিন্ন বিস্তারে দোলকটিকে দোলাও এবং প্রত্যেক ক্ষেত্রে, ধর, 20টি পূর্ণ দোলনের জন্য প্রয়োজনীয় সময় স্টপওয়াচ থেকে জেনে নাও। ঐ সময়কে 20 দিয়ে ভাগ করে দোলনকাল T নির্ধারণ কর। দেখ, প্রতিক্ষেত্রেই T-র মান সমান। কাজেই প্রথম সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হল।

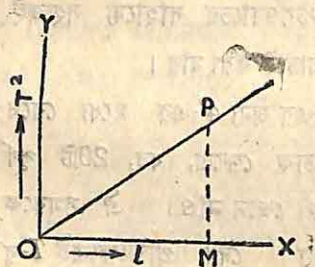
দ্বিতীয় সূত্র ঃ দোলকের দৈর্ঘ্য l পরিবর্তিত করে এক সেট বিভিন্ন কার্যকর দৈর্ঘ্যের জন্য, প্রতিক্ষেত্রে 20টি পূর্ণ দোলনের সময় স্টপওয়াচ থেকে জেনে নাও এবং তা থেকে দোলনকাল T-গুলো বের কর। এখন প্রত্যেক কার্যকর দৈর্ঘ্যের জন্য দৈর্ঘ্য / (দোলনকাল)^2-এর অনুপাতের মান নির্ণয় কর। দেখ যে, দৈর্ঘ্য/(দোলনকাল)^2-এর মান একটি ধ্রুবক। l বনাম T^2

চিত্র 7

লেখচিত্র আঁক। দেখ, লেখচিত্রটি মূলবিন্দুগামী একটি সরলরেখা (চিত্র 7)। কাজেই দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণিত হল।

তৃতীয় সূত্র : দোলকের দৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত রেখে বিভিন্ন g-মানবিশিষ্ট স্থানে গিয়ে ওর দোলনকাল নির্ণয় কর। দেখ, প্রত্যেক ক্ষেত্রেই T^2g-র মান ধ্রুবক হচ্ছে। কাজেই তৃতীয় সূত্রের সত্যতাও প্রমাণিত হল।

চতুর্থ সূত্র : চতুর্থ সূত্রের সত্যতা পরীক্ষার জন্যে দোলকের পিণ্ডটিকে পাল্টিয়ে নিতে হবে। যথাক্রমে একটি সীসার, একটি লোহার ও একটি তামার পিণ্ড নিয়ে প্রতিক্ষেত্রেই দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য একই রাখ। এবার স্টপওয়াচের সাহায্যে প্রতিক্ষেত্রে দোলনকাল নির্ণয় কর। দেখ, দোলনকালগুলো পরস্পর সমান।

1. 13 সরল দোলকের সাহায্যে g-র মান নির্ণয় (Determination of g by simple pendulum)

দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা-নিরূপণ পদ্ধতি অনুসরণ করে বিভিন্ন দৈর্ঘ্য l এবং আনুষঙ্গিক দোলনকাল T নির্ণয় কর। তারপর l বনাম T^2 লেখটি আঁক। দেখ, লেখটি মূলবিন্দুগামী একটি সরলরেখা। লেখ-র উপরে একটি উপযুক্ত বিন্দু P নিয়ে যথাক্রমে ওর কোটি ও ভুজ, PM ও OM, নির্ধারণ কর। ভুজ থেকে কার্যকর দৈর্ঘ্য l এবং কোটি থেকে আনুষঙ্গিক দোলনকালের বর্গ T^2 পাওয়া গেল।

চিত্র 8

যেহেতু $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ বা $g=4\pi^2\frac{l}{T^2}$,

অতএব শেষোক্ত সমীকরণে l ও T^2-এর মান বসিয়ে g-এর মান পাওয়া যাবে। এই g-ই পরীক্ষাস্থলে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান।

1. 14 সেকেণ্ড দোলক (Second's pendulum)

যে দোলকের অর্ধদোলন 1 সেকেণ্ডে সম্পন্ন হয় তাকে **সেকেণ্ড দোলক** বলে। অর্থাৎ সেকেণ্ড দোলকের দোলনকাল $T=2$ সেকেণ্ড।

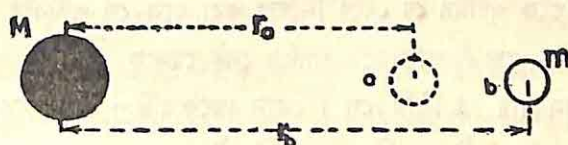
সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য নির্ণয় : ধর, কোন স্থানের $g=980$ সেমি/সে^{2}. ঐ স্থানে সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য কত? যদি নির্ণেয় দৈর্ঘ্য l হয়, তবে

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad \text{বা} \quad T^2=4\pi^2\,\frac{l}{g}$$

$$\therefore \quad l=\frac{T^2\times g}{4\pi^2}\,;\ \text{এখানে}\ T=2\ \text{সেকেণ্ড}$$

$$\therefore \quad l=\frac{4\times 980}{4\times 9.87}=\mathbf{99.3}\ \text{সেমি}$$

1.14 মহাকর্ষীয় বিভব (Gravitational Potential)

দুটি বস্তুকে তাদের মহাকর্ষীয় বলের বিরুদ্ধে পরস্পর থেকে পৃথক করতে কাজ করতে হয়। ধর, বস্তু দুটির ভর যথাক্রমে m এবং M ; M-ভরকে স্থির

চিত্র 9

রেখে, m-ভরকে a-অবস্থান থেকে সরিয়ে b-অবস্থানে আনতে কৃত কাজের পরিমাণ নিরূপণ করা যাক।

$$a\text{-অবস্থানে বস্তুদ্বয়ের মহাকর্ষ বল}=G\frac{Mm}{r_a^2}$$

$$b\text{-অবস্থানে বস্তুদ্বয়ের মহাকর্ষ বল}=G\frac{Mm}{r_b^2}$$

r_a , r_b হল যথাক্রমে a এবং b-অবস্থানে বস্তুদ্বয়ের দূরত্ব।

ঐ দুই মহাকর্ষ বলের গড় মানকে দূরত্ব (r_b-r_a) দিয়ে গুণ করলেই নির্ণেয় কাজের পরিমাণ পাওয়া যাবে। কিন্তু গড়মান নির্ণয় দু-ভাবে করা যায়: (a) **গাণিতিক গড়মান** (arithmetic mean) এবং (b) **গুণোত্তর গড় মান** (geometric mean)। কলনশাস্ত্র (calculus) থেকে জানা যায় যে, এক্ষেত্রে গুণোত্তর গড়-ই বৈধ গড়।

$$\therefore \quad \text{নির্ণেয় কৃত কাজ}\ W=\sqrt{\frac{GMm}{r_a^2}\cdot\frac{GMm}{r_b^2}}\ (r_b-r_a)$$

$$=GMm\left(\frac{1}{r_a}-\frac{1}{r_b}\right)$$

তা হলে, m-ভরকে a-অবস্থান থেকে অসীম দূরত্বে সরাতে

$$\text{কৃতকাজ}\ W_{\infty}=G\,\frac{Mm}{r_a}\quad\left(\because\ \frac{1}{r_b}=0,\ \text{যদি}\ r_b=\infty\ \text{হয়}\right)$$

বিপরীতপক্ষে, অসীম দূরত্ব থেকে m-ভরের কোন বস্তুকে a-অবস্থানে আনতে ঐ বস্তু ঐ পরিমাণ কাজ করতে সমর্থ হবে। তা হলে, অসীম দূরত্বে বস্তুটির অবস্থানজনিত শক্তি বা স্থিতিশক্তি বেশি। যদি অসীম দূরত্বের অবস্থানে স্থিতিশক্তি শূন্য ধরা হয় তবে a-অবস্থানে m-ভরযুক্ত বস্তুর স্থিতিশক্তি $= -G\dfrac{Mm}{r_a}$.

এই $-G\dfrac{M}{r_a}$ কে M ভরের জন্য r_a দূরত্বে মহাকর্ষীয় বিভব বলে।

1.15 নিষ্ক্রমণ বেগ (Escape velocity)

কোন বস্তুকে সর্বনিম্ন যে বেগে নিক্ষেপ করা হলে সে পৃথিবীর মহাকর্ষীয় বল কাটিয়ে মহাশূন্যে নিষ্ক্রান্ত হতে পারবে সেই বেগকে নিষ্ক্রমণ বেগ বলা হয়। এর মান প্রায় 11 কিমি./সে.। কোন বস্তুকে যদি পৃথিবী ছেড়ে চলে যেতে হয় তা হলে তাকে এই প্রাথমিক বেগ দিতেই হবে। নচেৎ, ভূ-পৃষ্ঠ থেকে নিক্ষিপ্ত হলেও এক সময়ে সে স্থির হয়ে যাবে এবং পৃথিবীর টানে আবার পৃথিবীতে ফিরে আসবে। পৃথিবীর অভিকর্ষ বল দূরত্বের বর্গের হারে কমে যায় বটে, কিন্তু যত কমই হোক না কেন তত্ত্বত পৃথিবীর অভিকর্ষ-ক্ষেত্রের ব্যাপ্তি অসীম দূরত্ব অবধি। কাজেই নিষ্ক্রমণ বেগ হল সেই প্রাথমিক বেগ যা বস্তুকে অসীম দূরত্বে নিয়ে যাবে।

পূর্ব অনুচ্ছেদ থেকে দেখা গেল, m-ভরযুক্ত কোন বস্তুকে ভূ-পৃষ্ঠ থেকে (অর্থাৎ ভূ-কেন্দ্র থেকে R-দূরত্ব, $R=$ পৃথিবীর ব্যাসার্ধ) অসীম দূরত্বে নিতে

কৃত কাজ $W=G\dfrac{Mm}{R}$; $M=$ পৃথিবীর ভর।

কাজেই কোন বস্তুকে যদি ঐ পরিমাণ গতিশক্তি দিয়ে ভূ-পৃষ্ঠ থেকে ছোঁড়া হয় তবে তার গতিশক্তি স্থিতিশক্তিতে রূপান্তরিত হওয়ার আগেই সে অসীম দূরত্বে পৌঁছে যাবে। অর্থাৎ V_e যদি নিষ্ক্রমণ বেগ হয়, তবে

$$\frac{1}{2}mv_e^2 = G\frac{Mm}{R}$$

বা, $v_e^2 = \dfrac{2GM}{R} = 2gR \quad \left(\because \quad g = G\dfrac{M}{R^2} \right)$

$\therefore \quad v_e = \sqrt{2GM/R} = \sqrt{2gR} = 11{\cdot}3$ কিমি/সে.

লক্ষ্য কর যে, নিষ্ক্রমণ বেগ বস্তুর ভরের উপর নির্ভরশীল নয়। বস্তুর ভর যাই

হোক না কেন নিক্রমণ বেগ একই। কক্ষপথে প্রদক্ষিণরত কোন উপগ্রহের বেগ স্পষ্টত নিক্রমণ বেগের চেয়ে কম। কেননা, সমান বা বেশি হলে ওটি মহাশূন্যে চলে যেত।

দ্রষ্টব্য: 11·3 কিলোমিটার/সেকেণ্ড বেগ পৃথিবী থেকে নিষ্ক্রমণের বেগ। কিন্তু যদি অন্য কোন গ্রহ-উপগ্রহ থেকে নিক্রান্ত হতে হয় তবে এর পরিমাণ ভিন্ন হয়। ধরা যাক, চাঁদের কথা। চন্দ্রবিজয় শেষে মহাকাশচারীরা যখন রকেটে চন্দ্রপৃষ্ঠ থেকে নিক্রান্ত হয়েছিলেন তখন রকেটের সর্বনিম্ন বেগ ছিল চাঁদের নিক্রমণ বেগ। কিন্তু চাঁদের বেগ v_e' কত ?

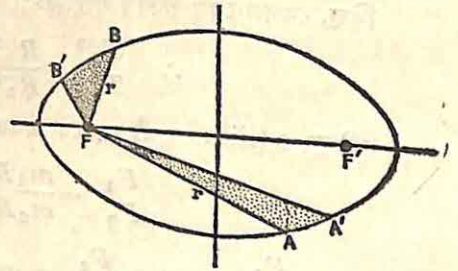
$$v_e' = \sqrt{2GM/R} = 2{\cdot}4 \text{ কিমি/সে} < 11{\cdot}3 \text{ কিমি./সে.}$$

এখানে M = চাঁদের ভর, R = চাঁদের ব্যাসার্ধ। একই সূত্র থেকে হিসাব করলে, মঙ্গলপৃষ্ঠে নিক্রমণ বেগ 5 কিমি/সে, বুধগ্রহে 6·8 কিমি/সে.

1.16 গ্রহগতি: কেপলারের সূত্র ও মহাকর্ষ

(Motion of planets : Kepler's law and gravitation)

ডেনমার্কের বিশিষ্ট জ্যোতির্বিদ টাইকো ব্রাহে বহু বৎসর ধরে গ্রহগতি পর্যবেক্ষণ করে বিভিন্ন গ্রহের অবস্থান সম্পর্কে তথ্যাদি লিপিবদ্ধ করেন। ঐ সব তথ্য বিশ্লেষণ করে এবং স্বয়ং অনুরূপ আরও তথ্য সংগ্রহ করে টাইকো-র সহকারী জ্যোতির্বিদ কেপলার গ্রহগতি সম্পর্কে নিম্নোক্ত তিনটি সূত্র আবিষ্কার করেন। জ্যোতির্বিদ্যার বিকাশে এই সূত্রগুলির ভূমিকা খুবই গুরুত্বপূর্ণ। এগুলিকে **কেপলারের সূত্র** বলা হয়।

B B' r F F' r A A'

চিত্র 10

প্রথম সূত্র: গ্রহগুলি সূর্যের চারদিকে উপবৃত্তাকার কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে; সূর্য থাকে ঐ উপবৃত্তের একটি ফোকাসে (F অথবা F')।

দ্বিতীয় সূত্র: সূর্য ও গ্রহ যোগ করে যে ব্যাসার্ধ রেখা (radius vector) r পাওয়া যায় তা সমান সময়াবকাশে সমান ক্ষেত্র বর্ণনা করে। ($\triangle FAA' = \triangle FBB'$)

তৃতীয় সূত্র ঃ উপবৃত্তে গ্রহদের পরিক্রমণের পর্যায়কালের বর্গ ঐ উপবৃত্তের দীর্ঘ অক্ষার্ধের (semi-major axis) ঘন মানের সমানুপাতী। $T^2 \propto a^3$.

কেপলারের সূত্রগুলো থেকে গ্রহগতির সরল ও সুষ্ঠু বর্ণনা পাওয়া যায়। কিন্তু কি কারণে গতি ঐ রকম হয় তা জানা যায় না। নিউটন এর কারণ আবিষ্কার করেন। সূর্য ও গ্রহদের মধ্যে দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতী আকর্ষণ অর্থাৎ মহাকর্ষই এর কারণ। কি করে সূত্রগুলো থেকে নিউটন মহাকর্ষের সিদ্ধান্তে আসেন তা নিচে আলোচনা করা হল।

সরলতার খাতিরে, সূর্যকে কেন্দ্র করে গ্রহটি R ব্যাসার্ধযুক্ত বৃত্তপথে প্রদক্ষিণরত ধরা হল।

বৃত্তপথে পরিভ্রমণের জন্য সূর্য-অভিমুখী প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল F হলে

$$F = m\omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2} m \quad \cdots\cdots (i)$$

এখানে m= গ্রহের ভর, ω= গ্রহের কৌণিক বেগ, T= গ্রহের পর্যায়কাল।
দুটি গ্রহের ক্ষেত্রে, আমরা পাব ঃ

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1 R_1 T_2{}^2}{m_2 R_2 T_1{}^2} \quad \cdots\cdots (ii)$$

কিন্তু, কেপলারের তৃতীয় সূত্রানুসারে, $T^2 \propto R^3$

$$\therefore \frac{T_1{}^2}{T^2{}_2} = \frac{R_1{}^3}{R_2{}^3} \quad \cdots\cdots (iii)$$

(ii) নং ও (iii) নং সমীকরণকে একত্র করে

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1 R_2{}^2}{m_2 R_1{}^2} \quad \cdots\cdots (iv)$$

$$\therefore \frac{F_1}{m_1/R_1{}^2} = \frac{F_2}{m_2/R_2{}^2} = \text{একটি ধ্রুবক} = k, \text{ ধর।}$$

$\therefore$ যে কোন গ্রহের ক্ষেত্রে $F = km/R^2 \quad \cdots\cdots (v)$

সব গ্রহের পক্ষেই k-র মান, তৃতীয় সূত্রানুসারে, সমান। ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া বল পরস্পর সমান ব'লে সূর্যের উপরও ঐ বল ক্রিয়া করবে। অর্থাৎ,

$$F = k_1 M/R^2 \; ; \; M = \text{সূর্যের ভর।}$$

$$\therefore \quad km/R^2 = k_1 M/R^2$$

$$\text{বা} \quad \frac{k_1}{m} = \frac{k}{M} = G \text{ (ধরা যাক)}$$

$$\therefore \quad k = GM$$

$\therefore$ (v) নং সমীকরণ থেকে $F = GMm/R^2$; স্পষ্টত এটি-ই মহাকর্ষ সূত্র।

1.17 কৃত্রিম উপগ্রহের গতি

(Motion of artificial satellites)

ভূ-পৃষ্ঠ থেকে কোন বস্তুকে বেগে অনুভূমিকভাবে ছুঁড়লে কক্ষপথ কি রকম হবে তা ঐ v-র মানের উপর নির্ভর করে। বিভিন্ন প্রাথমিক বেগে কক্ষের প্রকৃতি সম্পর্কে নিচে উল্লেখ করা হল। উক্তিগুলো গাণিতিক গণনায় প্রমাণ করা চলে।

বেগ	কক্ষের প্রকৃতি
I. $v >$ নিষ্ক্রমণ বেগ	পরাবৃত্ত ; বস্তু পৃথিবীর আকর্ষণের বাইরে চলে যায় ; সেখানে ওর কিছু গতিশক্তি থাকে।
II. $v =$ নিষ্ক্রমণ বেগ	পরাবৃত্ত ; বস্তু পৃথিবীর আকর্ষণের বাইরে যাবে, কিন্তু সেখানে গতিশক্তি থাকবে না।
III. $v <$ নিষ্ক্রমণ বেগ কিন্তু $>$ নিষ্ক্রমণ বেগ/$\sqrt{2}$	উপবৃত্ত ; ভূ-কেন্দ্র প্রথম ফোকাসে। বস্তু পৃথিবী প্রদক্ষিণ করবে (উপগ্রহ)।
IV. $v =$ নিষ্ক্রমণ বেগ/$\sqrt{2}$	বৃত্ত।
V. $v <$ নিষ্ক্রমণ বেগ/$\sqrt{2}$	উপবৃত্ত ; ভূ-কেন্দ্র দ্বিতীয় ফোকাসে।

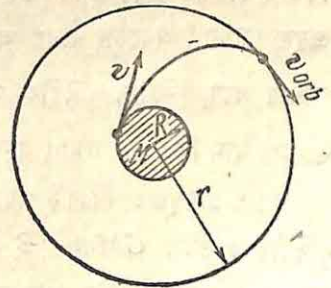
1.18 স্থায়ী কক্ষপথের জন্য পৃথিবীর উপগ্রহের সব নিম্নবেগ

(Minimum velocity of earth satellite for stable orbit)

ধর, $m =$ উপগ্রহের ভর, $v_\circ =$ উপগ্রহের সর্বনিম্ন বেগ এবং $r =$ উপগ্রহের কক্ষের ব্যাসার্ধ।

$\therefore$ পৃথিবীর চারদিকে বৃত্তপথে আবর্তনের জন্য প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল F_c হল : $F_c = \dfrac{mv^2}{r}$

চিত্র 11

এই বল মহাকর্ষ বা উপগ্রহের ওজন-বল জোগায়।

$$\therefore \quad mg=\frac{mv_0^2}{r} \qquad \therefore \quad v_0=\sqrt{rg}=\sqrt{\frac{GM}{r}} \quad \left(\because \quad g=\frac{GM}{r^2}\right)$$

এই হল নির্ণেয় সর্বনিম্ন বেগ। এই বেগকে **বৃত্তকক্ষীয় বেগ** (circular orbital velocity) বলে।

ধর $r=6{\cdot}4\times10^8$ সেমি (পৃথিবীর ব্যাসার্ধ); $g=980$ সেমি / সে.^{2}

$\therefore \quad v_0=\sqrt{6{\cdot}4\times10^8\times980}=7{\cdot}9\times10^5$ সেমি/সে

মাইল / ঘণ্টা এককে $v=18{,}000$ মাইল / ঘণ্টা।

1.19 ভূ-প্রদক্ষিণরত উপগ্রহে ভারশূন্যতা (Weightlessness in an orbiting satellite)

মহাকাশে বিচরণের যুগে প্রায়ই আমরা 'ভারশূন্যতা' কথাটি শুনতে পাই। কিন্তু বিষয়টি সম্পর্কে অনেকেরই সুষ্ঠু ধারণা না থাকায় এ সম্পর্কে কিছুটা বিশদ আলোচনা করা হল।

'ভূ-বিষুবরেখায় বস্তুর ওজন মেরুবিন্দুতে বস্তুর ওজনের চেয়ে কম'—এ কথার অর্থ কি? এ প্রশ্নে প্রায়ই যে উত্তর পাওয়া যায় তা হল : কোন বস্তুর উপর পৃথিবীর টান বা অভিকর্ষই ঐ বস্তুর ওজন এবং মেরুবিন্দুর তুলনায় বিষুবরেখায় অভিকর্ষ দু'কারণে কম। এক, মেরুবিন্দুতে পৃথিবী কিঞ্চিৎ চাপা বলে মেরু-ব্যাসার্ধ বিষুবরৈখিক ব্যাসার্ধের চেয়ে ছোট; দুই, পৃথিবীর নিজ অক্ষের চারধারে আবর্তনের ফলে বিষুবরেখায় কেন্দ্রবিমুখী অপকেন্দ্র বল অভিকর্ষ বা কেন্দ্রমুখী অভিকেন্দ্র বলকে কমিয়ে দেয়।

মেরু-ব্যাসার্ধ ছোট বলে মেরুবিন্দুতে অভিকর্ষ বেশি একথা ঠিক; কিন্তু দ্বিতীয় কারণটি সম্পূর্ণ ভুল। কেননা, বৃত্তপথে ঘূর্ণনরত বস্তুতে কখনও অপকেন্দ্র বল প্রযুক্ত হয় না (অপকেন্দ্র বলের আলোচনা দেখ)। তা ছাড়া, তর্কের খাতিরের অস্তিত্ব ধরে নিলেও, পৃথিবীর আবর্তনের উপর পৃথিবীর মহাকর্ষ $G\frac{Mm}{r^2}$ বা ওজনের মান নির্ভর করে না (মহাকর্ষ সূত্র দেখ)।

বস্তুত ভারশূন্যতা বিষয়টি প্রথম দৃষ্টিতে যতটা সরল মনে হয়, আসলে তা নয়। পৃথিবীর অভিকর্ষ GMm/r^2-ই যদি বস্তুর ওজন হয় তবে বিষুবরেখায় ওজন হ্রাসের কারণ বিষুবরৈখিক ব্যাসার্ধের দীর্ঘতা।

হয়ত প্রশ্ন উঠবে যে, পৃথিবীর নিজ অক্ষের চারধারে আবর্তনের কোন ভূমিকাই যদি ওজন-হ্রাসে না থাকে তবে কৃত্রিম উপগ্রহে ভারশূন্যতার কথা ওঠে

কেন? নিশ্চয়ই আবর্তন-এর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট। ঠিক। তবে বিষয়টি সঠিক অনুধাবন করতে হবে। প্রাত্যহিক জীবনে 'ভার' বলতে আমরা যা বুঝি তা পৃথিবীর ঐ অভিকর্ষ নয়, তা হল 'ভারের বোধ'। এই বোধ তখনই জন্মে যখন বস্তুর ওজনজনিত বল বাধা পায়। এই বাধা বা প্রতিক্রিয়া বল-ই ভারের বোধ জন্মায়। নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুসারে, এই প্রতিক্রিয়া বল, অভিকর্ষ বলের সমান ও বিপরীত। যদি ওজনজনিত বল বাধা না পায় অর্থাৎ যদি প্রতিক্রিয়া বল সৃষ্টি না হয় তবে 'ভারের বোধ' থাকে না—এই অবস্থাকেই **ভারশূন্যতা** বলে। মেরুবিন্দুর তুলনায় বিষুবরেখায় ভার কম—এ কথার অর্থ, উপরের আলোচনার আলোকে, মেরুতে প্রতিক্রিয়া বলের পরিমাণ বিষুবরেখায় প্রতিক্রিয়া বলের তুলনায় বেশি।

ধর, P_1 = মেরুবিন্দুতে অভিকর্ষ বল, P_2 = বিষুবরেখায় অভিকর্ষ বল এবং N_1, N_2 যথাক্রমে মেরু ও বিষুবরেখায় প্রতিক্রিয়া বল। মেরুবিন্দুতে বস্তু স্থির (কেননা, পৃথিবী ঘুরলেও মেরুবিন্দু ঘোরে না), কিন্তু বিষুবরেখায় পৃথিবীর আহ্নিক গতি হেতু বস্তু বৃত্তপথে ঘূর্ণনশীল। অতএব,

$$P_1 - N_1 = 0$$

এবং $$P_2 - N_2 = mf_c$$

f_c = অভিকেন্দ্র ত্বরণ। সমীকরণ দুটিকে সাজিয়ে লিখলে

$$N_1 = P;\ N_2 = P_2 - mf_c$$

অতএব, স্পষ্টত $N_2 < N_1$, কেননা, প্রথমত $P_2 < P_1$ (মেরু ব্যাসার্ধের হ্রস্বতা হেতু) এবং দ্বিতীয়ত P_2 থেকে mf_c (আবর্তনের প্রভাব) বাদ যাচ্ছে।

কাজেই, যখন বলা হয়, ওজন অর্ধেক হ্রাস পেল তখন অর্থ হল প্রতিক্রিয়া বল অর্ধেক হল—অর্থ এ নয় যে, পৃথিবীর অভিকর্ষ অর্ধেক হয়ে গেল!

প্রতিক্রিয়াই যদি ভারবোধের কারণ হয় তা হলে, অভিকর্ষে পতনশীল বস্তুমাত্রেই তো ভারশূন্য। কেননা, পতন নিবার্ধ বলে প্রতিক্রিয়ার প্রশ্ন নেই। ঠিক তাই। ভারশূন্য অবস্থা মানে অভিকর্ষে নিবার্ধ পতনশীল অবস্থা। এ সম্পর্কে আরও কয়েকটি কথা স্পষ্ট হওয়া উচিত। কৃত্রিম উপগ্রহে ভারশূন্যতা সম্পর্কে খুব প্রচলিত একটি ভুল ধারণা হল: কৃত্রিম উপগ্রহে পৃথিবীর অভিকর্ষ উপগ্রহের আবর্তনজনিত অপকেন্দ্র বলের দ্বারা কাটাকুটি হয়ে যাওয়ায় উপগ্রহটিতে প্রযুক্ত নীট বল শূন্য। এটিই ভারশূন্যতা সূচিত করে।

এর চেয়ে বিভ্রান্তিকর ব্যাখ্যা আর কিছুই হতে পারে না। একে তো

তথাকথিত অপকেন্দ্র বল উপগ্রহে প্রযুক্ত নয় (এটি ভূ-কেন্দ্রে প্রযুক্ত)। সে কথা ছেড়ে দিলেও ভারশূন্যতার সঙ্গে বলের কাটাকুটিঘটিত কোন ব্যাপার যুক্ত নয়। তাই যদি হত, তবে তো অনুভূমিক তলে ভূ-পৃষ্ঠের সকল স্থির বস্তুই ভারশূন্য কেননা, বস্তুর ওজন বল ও লম্ব প্রতিক্রিয়া পরস্পরকে বিনষ্ট করে দিচ্ছে। ভার-শূন্যতার জন্য অভিকর্ষ বলকে কাটানোর প্রয়োজন পড়ে না ; বরঞ্চ, কোন বস্তুকে ভারশূন্য করতে এমন অবস্থা, সৃষ্টির প্রয়োজন যে, বস্তুটিতে অভিকর্ষ ছাড়া অন্য কোন বল ক্রিয়াশীল না থাকে। বস্তুটি যেন অভিকর্ষে বাধাহীনভাবে পতনশীল হয়।

উপগ্রহের ভারশূন্যতার অর্থ কি তা হলে এই যে, ভূ-প্রদক্ষিণরত উপগ্রহ অভিকর্ষে বাধাহীন ভাবে পড়ছে! দৃশ্যত মানতে কষ্ট হলেও ঠিক তাই। একটু ব্যাখা করা যাক। ধর, একটা উঁচু পাহাড়ের শীর্ষদেশ P থেকে অনুভূমিকভাবে তুমি একটি ঢিল ছুঁড়লে। উঁচু পাহাড়ের মাথায় বায়ুর বাধা উপেক্ষা কর। কিছু দূর গিয়ে ঢিলটি আবার A-তে মাটিতে পড়ল। এবারে আরও বেগে ঢিল ছোঁড়। ঢিলটি তবুও মাটিতে এসে পড়ল, তবে অনেক দূরে B-তে গিয়ে। এমনি বাড়াতে বাড়াতে বেগ যখন বৃত্তকক্ষীয় বেগ $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ বা $\sqrt{rg}$ হবে তখন ঢিলটি পড়তে পড়তে পৃথিবীর চারধারে বৃত্তপথে আবর্তন সম্পন্ন করে ফেলবে। অর্থাৎ পৃথিবীর একটি উপগ্রহে পরিণত হবে। কাজেই প্রদক্ষিণরত উপগ্রহের অবস্থা অভিকর্ষে নিবার্ধ পতনশীল বস্তুর অবস্থা। পার্থক্য হল এই যে, এই পতনকালঅনির্দিষ্টভাবে দীর্ঘ।

চিত্র 12

ঢিলের বেগ আরও বাড়লে কি হবে সে কথা তালিকা আকারে **1.17** অনুচ্ছেদে দেখানো হয়েছে। প্রশ্ন উঠতে পারে, বেগ যখন নিষ্ক্রমণ বেগ বা তার বেশি হয় তখন তো ঢিলটি মহাশূন্যে পাড়ি দিচ্ছে। তাকে তো অভিকর্ষে পতনশীল বস্তু বলা যায় না। তার ভারশূন্যতার ব্যাখ্যা কি? খুব সহজ! সে তখন সূর্যের মহাকর্ষে পতনশীল এবং তা-ই ভারশূন্য।

তা হলে, কোন-না-কোন জ্যোতিষ্কের (celestial body) মহাকর্ষক্ষেত্রে পতনশীলতা-ই কি আন্তর্নাক্ষত্রিক জগতে কোন মহাকাশযানের ভারশূন্যতার কারণ? ঠিক তাই। তবে পতন নির্বাধ হওয়া চাই।

1.20 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. নিম্নে প্রদত্ত তথ্যগুলো থেকে সূর্যের ভর নির্ণয় কর:

পৃথিবী থেকে সূর্যের দূরত্ব $=1.49\times10^{13}$ সেমি., $G=6.66\times10^{-8}$ সি. জি. এস: একক। এক বৎসর $=365$ দিন। (**কলি. বি. এস. সি. 1961**)

ধর, সূর্যের ভর $=M$, পৃথিবীর ভর $=m$, $r=$ সূর্য-পৃথিবী দূরত্ব

$$\therefore \text{ মহাকর্ষ বল } F=G\frac{Mm}{r^2}$$

কিন্তু এই মহাকর্ষ বল পৃথিবীর অভিকেন্দ্র বল $m\omega^2r=m(2\pi/T)^2r$; $\omega=$ পৃথিবীর কৌণিক বেগ, $T=$ পৃথিবীর আবর্তন কাল।

$$\therefore \quad m(2\pi/T)^2r=G\frac{Mm}{r^2} \quad \therefore \quad M=4\pi^2r^3/T^2G$$

$$\therefore \quad M=\frac{4\times9.87\times(1.49\times10^{13})^3}{(365\times86400)^2\times6{\cdot}66\times10^{-8}}=\mathbf{1{\cdot}97\times10^{33}} \textbf{ গ্রাম}$$

$(\because \; T=365$ দিন $=365\times86400$ সেকেণ্ড$)$

উদা. 2. পৃথিবী যদি $6{\cdot}37$ মিলিয়ন মিটার ব্যাসার্ধযুক্ত একটি লোহার গোলক হত তবে ভূ-পৃষ্ঠে g-র মান কত হত? $G=6{\cdot}658\times10^{-8}$ সি. জি. এস একক এবং লোহার ঘনাঙ্ক $=7{\cdot}86$ গ্রাম/সিসি. (**কলি. বি. এস. সি 1952**)

$g=\frac{4}{3}\pi RGD$ সমীকরণ থেকে ($D=$ পৃথিবীর উপাদানের ঘনত্ব)

$$g=\tfrac{4}{3}\times3{\cdot}14\times(6{\cdot}37\times10^8)\times(6{\cdot}658\times10^{-8})\times7.86$$

$$=\mathbf{1336} \textbf{ সেমি/সে.}$$

উদা. 3. প্রদত্ত তথ্যরাজি থেকে G-র মান নির্ণয় কর:

$g=980$ সেমি/সে^{2}, পৃথিবীর গড় ঘনত্ব $=5{\cdot}527$ গ্রাম/সিসি এবং পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $=3960$ মাইল। (**ঢাকা বি. এস. সি. 1946**)

$g=\frac{4}{3}\pi RGD$ সমীকরণ থেকে $G=3g/4\pi RD$

$$\therefore \; G=3\times980/4\times3{\cdot}14\times3960\times1760\times3\times2{\cdot}54\times5{\cdot}527$$

$$=\mathbf{6{\cdot}6\times10^{-8}} \textbf{ সি. জি. এস. একক}$$

উদা. 4. ভূ-পৃষ্ঠের 600 কিমি উঁচুতে একটি রকেট থেকে অনুভূমিকভাবে একটি গোলক নিক্ষিপ্ত হল। গোলকটি যদি ঐ উঁচু থেকে উপগ্রহের ন্যায়

ভূ-প্রদক্ষিণ করে তবে প্রয়োজনীয় নিক্ষেপণ বেগ নির্ণয় কর। ($G=6{\cdot}66 \times 10^{-8}$ সি. জি. এস একক, পৃথিবীর ভর $=6\times10^{27}$ গ্রাম, পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $=6400$ কিমি)। (কলি. অনার্স 1960)

ধর, $m=$ গোলকের ভর, $v=$ নিক্ষেপণ বেগ, $h=$ ভূপৃষ্ঠ থেকে উচ্চতা, r কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, $g_h=$ ঐ উচ্চতায় অভিকর্ষজ ত্বরণ।

$\therefore$ উপগ্রহরূপে গোলকের ভূ-প্রদক্ষিণের শর্ত হল

$$mg_h=mv^2/r \quad \text{বা,} \quad v=\sqrt{g_h r}$$

এক্ষণে $r=R+h$ এবং $g_h=GM/(R+h)^2$, $M=$ পৃথিবীর ভর, $R=$ পৃথিবীর ব্যাসার্ধ।

$$\therefore \quad v=\sqrt{\frac{GM(R+h)}{(R+h)^2}}=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$

$$=\sqrt{\frac{6{\cdot}66\times10^{-8}\times6\times10^{27}}{(6400+600)10^5}}$$

$$=7{\cdot}56\times10^5 \text{ সেমি/সে} = \mathbf{7{\cdot}56} \text{ কিমি/সে}$$

উদা. 5. কোন স্থানে একটি পেণ্ডুলামের অর্ধদোলন কাল 1 সেকেণ্ড; ঐ স্থানের $g=32{\cdot}26$ ফু/সে^{2}। যদি ঐ পেণ্ডুলামটিকে $g=32{\cdot}10$ ফু/সে^{2} মান বিশিষ্ট একটি পর্বতশীর্ষে নিয়ে যাওয়া হয় তবে 24 ঘণ্টায় এটি কত সময় হারাবে? (গৌহাটি 1958)

দ্বিতীয় স্থানে g কম; অতএব T বেশি। কাজেই দোলক ধীরে চলবে। ধরে, x সেকেণ্ড ধীরে চলে।

$\therefore$ 24 ঘণ্টায় বা 86400 সেকেণ্ডে $864000-x$ বার দোলে। দোলকের দৈর্ঘ্য l হলে

$$1=\pi\sqrt{\frac{l}{32{\cdot}26}} \text{ এবং } \frac{86400}{86400-x}=\pi\sqrt{\frac{l}{32{\cdot}10}}$$

ভাগ করে: $$\frac{86400-x}{86400}=\sqrt{\frac{32{\cdot}10}{32{\cdot}26}}=\left(1-\frac{0{\cdot}16}{32{\cdot}26}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore \quad 1-\frac{x}{86400}=1-\frac{1}{2}\frac{0{\cdot}16}{32{\cdot}26}$$

$$\therefore \quad x=43200\times0{\cdot}16/32{\cdot}26=214$$

অর্ধদোলন সংখ্যা 214 কমে যাচ্ছে, অতএব পেণ্ডুলাম দৈনিক **214** সেকেণ্ড করে হারাবে।

অনুশীলনী

1. মহাকর্ষ বলতে কি বোঝ? নিউটনের মহাকর্ষ স্থত্রটি বল।

2. মহাকর্ষীয় ধ্রুবক কি? এটি কি একটি নিছক ধ্রুবসংখ্যা? এর মান কত?

3. মহাকর্ষীয় ধ্রুবক নির্ণয়ের একটি পদ্ধতি রূপরেখায় বর্ণনা কর।

4. বিস্তৃত বস্তুর ক্ষেত্রে মহাকর্ষ স্থত্রের প্রয়োগ সম্পর্কে কি হবে? মহাকর্ষের সার্বজনীনতা সম্পর্কে আলোচনা কর।

5. অভিকর্ষ বলতে কি বোঝ? এর প্রভাব সম্পর্কে আলোচনা কর। ওজন ও অভিকর্ষ কি এক? অভিকর্ষজ ত্বরণ কাকে বলে?

6. পৃথিবীর ভর ও গড় ঘনত্ব প্রকাশক সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর এবং ওদের মান সম্পর্কে ধারণা দাও।

7. অভিকর্ষজ ত্বরণ কি ধ্রুবক? এর হ্রাসবৃদ্ধি সম্পর্কে আলোচনা কর।

8. ভূ-পৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ g হলে দেখাও যে, ভূ-পৃষ্ঠ থেকে h উর্ধ্বে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান $g' = g\ (1 - 2h/R)$.

9. প্রমাণ কর যে, ভূ-কেন্দ্রে অভিকর্ষজ ত্বরণ ও বস্তুর ওজন লোপ পায়।

10. ভূ-পৃষ্ঠে বিভিন্ন অক্ষাংশে g-র মান বিভিন্ন হওয়ার যৌক্তিকতা আলোচনা কর।

11. পতনশীল বস্তুর স্থত্রগুলো কি কি? স্থত্রগুলোর যৌক্তিকতা আলোচনা কর এবং প্রথম স্থত্রের সত্যতা যাচাই করার জন্য নিউটনের ব্যবস্থাটি বিশদ বর্ণনা কর।

12. অভিকর্ষাধীন গতি সম্পর্কিত সমীকরণগুলো লেখ। স্থত্রগুলো থেকে u প্রারম্ভিক বেগ উর্ধ্বদিকে উৎক্ষিপ্ত কোন বস্তুর সর্বোচ্চ অবস্থানের উচ্চতা এবং ঐ উচ্চতায় পৌছানোর সময় নির্ণয় কর।

13. দেখাও যে, উর্ধ্বে নিক্ষিপ্ত কোন বস্তুর সর্বোচ্চ বিন্দুতে পৌছতে যে সময় লাগে, ঐ স্থান থেকে আবার নিচে ফিরতেও সেই সময় লাগে।

14. সরল দোলক বলতে কি বোঝ? দোলক সংক্রান্ত নিম্নলিখিত বিষয়গুলোর সংজ্ঞা লেখ: ঝুলন বিন্দু, দোলন কেন্দ্র, কার্যকর দৈর্ঘ্য, দোলকের বিস্তার, পূর্ণ দোলন, দোলন কাল।

15. সরল দোলকের স্থত্রগুলো লেখ। কি করে পরীক্ষার সাহায্যে স্থত্রগুলোর সত্যতা যাচাই করবে?

16. কি করে সরল দোলকের সাহায্যে কোন স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণ নিরূপণ করা যায়? সরল দোলক দিয়ে কি করে পাহাড়ের উচ্চতা বের করা যায়?

17. সেকেণ্ড দোলক কাকে বলে? কোন স্থানের $g=980$ সেমি. সে.^{2}; ঐ স্থানে সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য কত হবে?

18. একটি ফাঁপা পিতলের দোলককে সুতোয় ঝুলিয়ে সরল দোলক তৈরি করা হল। নিম্নোক্ত ক্ষেত্রগুলিতে দোলন কাল কেমন হবে এবং কেন?

(a) গোলকটি সম্পূর্ণ জলভর্তি করা হল (b) অর্ধেক পারদ ভর্তি করা হল (c) দোলককে পাহাড়ে উপরে নেওয়া হল (d) অনুরূপ সীসার গোলক দিয়ে পিতলের গোলক পাল্টানো হল (e) দোলককে খুব উষ্ণ স্থানে নিয়ে যাওয়া হল।

19. নিষ্ক্রমণ বেগ বলতে কি বোঝ? এই বেগের পরিমাণ কত? এই সংক্রান্ত সমীকরণটি কি?

20. কৃত্রিম উপগ্রহে ভারশূন্যতা সম্পর্কে আলোচনা কর।

21. নিম্নলিখিত তথ্যগুলো থেকে পৃথিবীর গড় ঘনত্ব নির্ণয় কর: $g=980$ সেমি/সেকেণ্ড; $R=6.4\times10^8$ সেমি; $G=6{\cdot}67\times10^{-8}$।

22. প্রদত্ত তথ্যগুলো থেকে ভূ-পৃষ্ঠে g-র মান নির্ণয় কর। $G=6.67\times10^{-8}$; পৃথিবীর ব্যাসার্ধ$=6.4\times10^8$ সেমি এবং পৃথিবীর গড় ঘনত্ব$=5{\cdot}5$ গ্রাম/সিসি. [988.6 সেমি/সে^{2}]

23. 3 গ্রাম এবং 500 গ্রামের দুটি গোলক পরস্পর 5 সেমি দূরত্বে 4×10^{-6} ডাইন বলে আকর্ষণ করে। G-র মান কত? [$6{\cdot}67\times10^{-8}$]

24. পৃথিবীর ব্যাসার্ধ ও অভিকর্ষজ ত্বরণ যথাক্রমে $6{\cdot}4\times10^8$ সেমি ও 981 সেমি/সে^{2}। পৃথিবীর গড় ঘনত্ব নির্ণয় কর।
(**বর্ধমান বি. এস. সি.** 1963) [5·46 গ্রাম/সিসি]

25. $G=6{\cdot}8\times10^{-8}$, $g=981$ সেমি/সে^{2}, পৃথিবীর ব্যাসার্ধ$=6400$ কিমি। পৃথিবীর ভর নির্ণয় কর। [$5{\cdot}9\times10^{27}$ গ্রাম]

26. নিম্নোক্ত তথ্য থেকে সূর্যের ভর নির্ণয় কর: পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $=1{\cdot}5\times10^{-8}$ কিমি; $G=6{\cdot}67\times10^{-8}$ সি. জি. এস. একক।
(**আলিগড় বি. এস. সি. 1956**) [$20{\cdot}09\times10^{32}$ গ্রাম]

27. 20 সেমি বিচ্ছিন্ন (কেন্দ্র থেকে কেন্দ্র) 40 কিলো ও 15 কিলো ভরের দুটি গোলক 0·1 মিলিগ্রাম-ভারে পরস্পরকে আকর্ষণ করে। এ থেকে G-র মান নির্ণয় কর। (**পাটনা বি. এস. সি 1956**) [$6{\cdot}54\times10^{-8}$]

28. প্রদত্ত তথ্যাদি থেকে নিষ্ক্রমণ বেগ নির্ণয় কর : $G=6{\cdot}66\times10^{-8}$ সি. জি. এস একক, পৃথিবীর ভর $=5{\cdot}97\times10^{27}$ গ্রাম, পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $=6{\cdot}37\times10^{8}$ সেমি. (**কলি. বি. এস. সি 1959**) [11·18 কিমি/সে.]

29. g = 980 সেমি/সে^{2} ; পৃথিবীর ভর = 4×10^{27} গ্রাম,পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $=6\times10^{8}$ সেমি। 1 কিলো-ভরের দুটি গোলকের মেন্দ্র পরস্পর 20 সেমি দূরে থাকলে উভয়ের মধ্যে মহাকর্ষ বল কত হবে ?

(**কলি. অনার্স 1955**) [$1{\cdot}47\times10^{-4}$ ডাইন]

30. 4900 মাইল ব্যাসার্ধের বৃত্তীয় কক্ষপথে একটি স্পুৎনিক কেবলমাত্র পৃথিবীর আকর্ষণে ভূ-প্রদক্ষিণ করছে। সেকেণ্ডে কত ফুট বেগে স্পুৎনিকটি চলছে ? পৃথিবীর ব্যাসার্ধ = 4000 মাইল, $g=32$ ফুট/সে^{2} (ভূ-পৃষ্ঠে)।

(**পাটনা বি. এস সি 1958**) [$23{\cdot}48\times10^{2}$ ফু/সে]

31. নিম্নোক্ত তথ্য থেকে পৃথিবীর চারপাশে চাঁদের আবর্তনকাল নির্ণয় কর : পৃথিবীর ব্যাসার্ধ=6400 কিমি ; পৃথিবী-চাঁদ দূরত্ব = $3{\cdot}84\times10^{5}$ কিমি ; ভূ-পৃষ্ঠে $g=980$ সেমি/সে^{2} (**বেনারস বি. এস. সি 1940**) [357·8 ঘণ্টা]

32. একটি অ্যালুমিনিয়ম দোলকের দৈর্ঘ্য 20°C-এ 100 সেমি। যদি উষ্ণতা 30°C-এ স্থির রাখা হয় তবে 24 ঘণ্টায় দোলকটি কয় সেকেণ্ড হারাবে? অ্যালুমিনিয়মের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক= 25×10^{-6}.

(**গৌহাটি বি. এস. সি. 1956**) [10·1 সে]

33. দেখাও যে, 5 মাইল গভীর একটি খনির তলদেশে অভিকর্ষজ ত্বরণ ভূ-পৃষ্ঠে g-র মানের 799/800 ; পৃথিবীকে 4000 মাইল ব্যাসার্ধের একটি সমসত্ত্ব গোলক ধরা যায়। (**কলি বিশ্ব**)

34. l-দৈর্ঘ্যের একটি দোলক প্রত্যহ 3 সেকেণ্ড করে হারায়। সঠিক সময় দেখাতে এর দৈর্ঘ্যকে কতটা কমাতে হবে ? [l/14400]

35. একটি দোলক বিষুবরেখায় এক সেকেণ্ডে অর্ধদোলন নিষ্পন্ন করে এবং মেরুদ্বয়ে নিয়ে গেলে প্রত্যহ 300 সেকেণ্ড লাভ করে। বিষুবরেখা এবং মেরুতে g-র মানের অনুপাত নির্ণয় কর। [149 : 144]

36. পৃথিবী যদি নিজের মেরুদণ্ডের চারদিকে আবর্তন না করতো তবে g-র মান বর্তমান মানের চেয়ে কত বেশি হত ? পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $=6{\cdot}37\times10^{8}$ সেমি ; পৃথিবীর কৌণিক বেগ $=7{\cdot}27\times10^{-5}$ রেডি/সে. ? [3·36 সেমি/সে^{2}]

37. যদি কোন স্থানে সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য 100 সেমি হয় এবং ঐ স্থানে অপর একটি দোলক মিনিটে 25 টি পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করে তবে দ্বিতীয় দোলকের দৈর্ঘ্য কত ? (উঃ মাঃ কম্পার্ট **1961**) [144 সেমি]

38. যে স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণ 980 সেমি/সে^{2} ঐ স্থানে একটি সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। যদি ঐ স্থানে উক্ত দোলকের দৈর্ঘ্য 2·25 গুণ বাড়ানো হয় তা হলে আনুষঙ্গিক দোলনকাল কত হবে ?

(পঃ বঃ উঃ মাঃ **1964**) [99·2 ; 3 সে.]

39. একটি ত্রুটিপূর্ণ সেকেণ্ড দোলক প্রত্যহ 9 সেকেণ্ড করে হারায়। দোলকটিকে ত্রুটিহীন করতে ওর দৈর্ঘ্য কতটা পাল্টাতে হবে (g = 980 সেমি/সে^{2})

[0·0207 সেমি]

2

দ্বিতীয় অধ্যায়

স্থিতিস্থাপকতা (Elasticity)

2.1 স্থিতিস্থাপকতা (Elasticity)

ধরা যাক, কোন বস্তুতে একাধিক বল প্রযুক্ত হয়েছে, কিন্তু বল-গুলি সাম্যাবস্থায় আছে। শর্তানুসারে, ঐ বস্তুর সামগ্রিক সরণ সম্ভব নয় ; কিন্তু দেখা যায় যে, ঐ বস্তুর সংগঠনকারী কণিকাগুলোর আপেক্ষিক সরণ ঘটে এবং ফলে বস্তুর আকার, আয়তন ইত্যাদিতে সাময়িক বাহ্যিক পরিবর্তন দেখা দেয়। এই বাহ্যিক পরিবর্তনকে বিকার (deformation) বলে। বিকার সাময়িক, কেননা প্রযুক্ত বলসমষ্টির অপসারণে বস্তু আবার আগের অবস্থায় ফিরে যায়। পদার্থের এই ধর্মকে **স্থিতিস্থাপকতা** বলে এবং যে পদার্থ এই ধর্ম দেখায় তাকে **স্থিতিস্থাপক পদার্থ** বলে।

যখন কোন বস্তুতে প্রযুক্ত সাম্যবল সমষ্টি ঐ বস্তুর সংগঠনকারী কণিকাগুলোতে কোনরূপ আপেক্ষিক সরণ ঘটাতে পারে না অর্থাৎ বস্তুতে কোন বাহ্যিক বিকৃতি দেখা দেয় না তখন ঐ বস্তুকে **দৃঢ়বস্তু** (rigid body) বলে।

বাস্তবে পূর্ণ স্থিতিস্থাপক এবং পূর্ণ দৃঢ়বস্তু বলে কিছু নেই। প্রযুক্ত বলের পরিমাণের উপর নির্ভর করে সকল বস্তুতেই স্থিতিস্থাপকতা ও দৃঢ়তা দেখা যায়।

2.2 ইস্পাত ও রবার : কে বেশি স্থিতিস্থাপক ?
(Steel & india rubber : which is more elastic)

উপরের সংজ্ঞানুসারে, যে বস্তু একই পরিমাণ সাম্য বলসমষ্টির প্রয়োগে অপেক্ষাকৃত কম বিকৃতি দেখাবে তা-ই বেশি স্থিতিস্থাপক। সমান বলের প্রভাবে একই আকারের ইস্পাত ও রবারের তারের মধ্যে ইস্পাতের বিকার কম। ফলে রবারের তুলনায় ইস্পাত অনেক বেশি স্থিতিস্থাপক। কিন্তু সাধারণভাবে স্থিতিস্থাপকের বস্তু হিসাবে স্বভাবত রবারের কথা-ই আমাদের বেশি মনে আসে।

2. 3 কয়েকটি সংজ্ঞা (Some definitions)

বিকৃতি (strain): স্থিতিস্থাপক বস্তুতে প্রযুক্ত একাধিক বল সাম্যাবস্থায় থাকলে বস্তুর সংগঠনকারী কণিকাগুলোর আপেক্ষিক সরণ ঘটে।

এই সরণের ফলে বস্তুর আকার, আয়তন ইত্যাদিতে সাময়িক বাহ্যিক পরিবর্তন দেখা দেয়। এই পরিবর্তনকে **বিকার** (deformation) বলে। একক মাত্রায় যে বিকার ঘটে অর্থাৎ আনুপাতিক বিকার বা বিকারের হারকে **বিকৃতি** বলে।

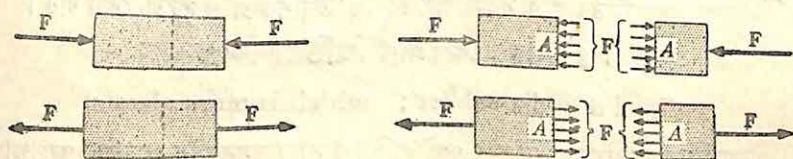
ধর, কোন তারের দৈর্ঘ্য l ; বাহ্যিক বলের প্রভাবে দৈর্ঘ্যের x পরিমাণ বিকার বা পরিবর্তন হয়েছে। তা হলে :

$$\text{দৈর্ঘ্যের বিকৃতি} = \frac{x}{l}$$

তেমনি, ধর, কোন বস্তুর আয়তন V ; বাহ্যিক বলপ্রভাবে আয়তনে v পরিমাণ পরিবর্তন হল। তা হলে :

$$\text{আয়তন বিকৃতি} = v/V$$

পীড়ন (stress) : বাহ্যিক বলের প্রভাবে কোন বস্তুর সংগঠনকারী অণু-গুলোর আপেক্ষিক সরণে বিকৃতি ঘটলে ঐ বস্তুর অভ্যন্তরে বিকৃতি প্রতিরোধকারী বলের উদ্ভব ঘটে। এই বলের প্রভাবে বস্তুটি বাহ্যিক বলের অপসারণে পূর্বাবস্থায় ফিরে যায়।

বস্তুর প্রস্থচ্ছেদের প্রতি একক ক্ষেত্রফলে যে প্রতিরোধকারী বলের উদ্ভব ঘটে তাকে পীড়ন (stress) আখ্যা দেওয়া হয়। যেহেতু সাম্যাবস্থায় বাহ্যিক প্রযুক্ত বল ও প্রতিরোধকারী আভ্যন্তরিক বলের মান সমান, সেহেতু বস্তুর প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত বাহ্যিক বলের পরিমাণকে-ও পীড়ন বলা যায়।

চিত্র 13

ধর, F হল কোন বস্তুর A-প্রস্থচ্ছেদের উপর প্রযুক্ত বাহ্যিক বল। তা হলে পীড়নের মান বা

$$\text{পীড়ন} = \frac{F}{A} = \frac{\text{প্রযুক্তবল}}{\text{প্রস্থচ্ছেদ}}$$

পীড়নের উদ্ভব সম্পর্কে নিচে আরও বিশদ বলা হল। ধর, F, F বাহ্যিক সাম্য বল প্রয়োগের ফলে বস্তুর দৈর্ঘ্য-বিকৃতি ঘটেছে (চিত্র 13)। ঐ অবস্থায় ভগ্ন রেখার সাহায্যে দেখানো তলদ্বারা বস্তুটিকে দু-অংশে ভাগ করা হয়েছে। বস্তুটি

সামগ্রিকভাবে স্থির অবস্থায়। কাজেই স্পষ্টত প্রস্থচ্ছেদের ডানদিকের অংশ বাঁ দিকের অংশকে এবং বাঁ দিকের অংশ ডান দিকের অংশকে সমবলে টানছে। এজন্যই বস্তুর অভ্যন্তরে প্রতিরোধকারী বল সৃষ্টি হচ্ছে। এক্ষেত্রে প্রস্থচ্ছেদ ভেদ করে তা একদিক থেকে অন্যদিকে চালিত হচ্ছে।

2. 4 বিভিন্ন প্রকারের বিকৃতি ও পীড়ন

(Types of strain and stress)

সাধারণত তিন প্রকারের বিকৃতি দেখা যায়। যথা—

(i) **অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি** (ii) **আয়তন বিকৃতি** এবং (iii) **কৃন্তন বিকৃতি** বা **আকৃতির বিকৃতি**।

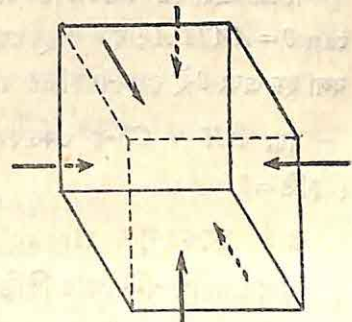
এই তিন প্রকারের বিকৃতি অনুসারে আনুষঙ্গিক পীড়নও তিন প্রকারের হয়। যথা—(i) **অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন**, (ii) **আয়তন পীড়ন** এবং (iii) **কৃন্তন পীড়ন** বা **স্পর্শক পীড়ন**।

যে বিকৃতি বস্তুর দৈর্ঘ্য বরাবর সংঘটিত হয় তাকে **অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি** (longitudinal strain) বলে। একটি লম্বা সরু তারকে দৃঢ় আলম্ব থেকে ঝুলিয়ে দিয়ে ওতে ক্রমাগত ওজন চাপাও। লক্ষ্য কর তারের দৈর্ঘ্যের বিস্তার ঘটছে, এক্ষেত্রে তারের বিকৃতি অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি। চিত্র 18 দেখ।

$$\textbf{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি} = \frac{\text{দৈর্ঘ্যের হ্রাস বা বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}} = \frac{x}{l}$$

যে বিকৃতি বস্তুর আয়তনগত তাকে **আয়তন বিকৃতি** (volume strain) বলে। একটি বস্তু নিয়ে চারদিক থেকে যদি ওর উপর বল প্রয়োগ করা হয় চিত্র 14 তবে-বস্তুটি আয়তনে সংকুচিত হয়। বিপরীত পক্ষে, বস্তুটিকে চারদিক থেকে বল প্রয়োগে টানলে ওর আয়তন বৃদ্ধি ঘটে। এক্ষেত্রে বস্তুর বিকৃতি আয়তন বিকৃতি।

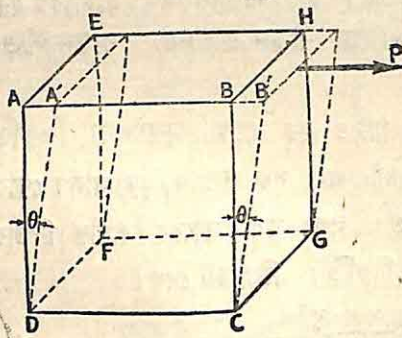
আয়তন বিকৃতি

$$= \frac{\text{আয়তনের হ্রাস বা বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক আয়তন}} = \frac{v}{V}$$

চিত্র 14

উপরের দুই প্রকার বিকৃতির ক্ষেত্রে প্রযুক্ত পীড়নকে যথাক্রমে **অনুদৈর্ঘ্য**

পীড়ন (longitudinal stress) এবং **আয়তন পীড়ন** (volume stress) বলে।

কৃন্তন বিকৃতি ও কৃন্তন পীড়ন (Shearing strain and shearing stress): কোন লোহার পাতের একদিক স্থির রেখে অন্যদিকে বল প্রয়োগে বাঁকিয়ে দেওয়া হলে বস্তুর আকৃতিগত বিকৃতি দেখা দেয়। অথবা একদিক স্থির রেখে কোন ধাতুদণ্ডে দ্বন্দ্ব প্রয়োগ করে দণ্ডটি মুচড়ানো হল। এক্ষেত্রে-ও বস্তুর আকৃতিগত বিকৃতি দেখা দেবে। এই ধরনের বিকৃতিকে **কৃন্তন বিকৃতি** বলে। আনুষঙ্গিক পীড়নকে বলে **কৃন্তন পীড়ন**।

একটি উদাহরণের সাহায্যে বিষয়টি আরও স্পষ্ট করা যাক। ধর, $EBCF$ একটি আয়তকার স্তম্ভ, নিম্নতল DG দৃঢ়ভাবে আটকানো এবং উপরিতল AH-র সমান্তরালে P স্পর্শক বল প্রয়োগ করা হয়েছে। বলের প্রভাবে স্তম্ভকটির আকার পাল্টে যাবে, যেমন $DCBA$-র পরিবর্তিত রূপ $DCB'A'$। এই ধরনের পরিবর্তন হল **কৃন্তন** (shear)।

চিত্র 15

চিত্রে প্রদর্শিত θ-কোণের দ্বারা কৃন্তন-এর পরিমাপ করা হয়। এক্ষেত্রে $\tan\theta = AA'/DA$; যদি θ-খুব ছোট হয় তবে $\tan\theta = \theta$; θ-কে **কৃন্তন কোণ** বলা হয় এবং θ-ই কৃন্তন-বিকৃতির পরিমাণ নির্দেশ করে।

ধর, AH বা CF-র ক্ষেত্রফল $= \alpha$; তা হলে কৃন্তন পীড়ন $= P/\alpha$; কৃন্তন বিকৃতি $= \theta$.

2.5 হুকের সূত্র (Hooke's law)

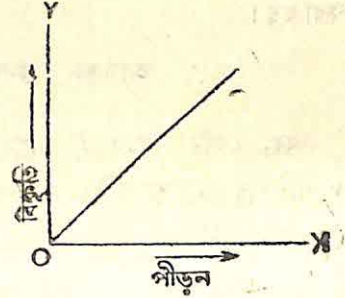
ব্যাপক পরীক্ষা-নিরীক্ষার ভিত্তিতে ইংরেজ বিজ্ঞানী রবার্ট হুক স্থিতিস্থাপকতার মূল সূত্রটি আবিষ্কার করেন। সূত্রটি হল:

স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত পীড়ন আনুষঙ্গিক বিকৃতির সমানুপাতিক।

অর্থাৎ **পীড়ন ∝ বিকৃতি**

বা $\dfrac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}} = \text{ধ্রুবক}$

ধ্রুবকটিকে **স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক** (modulus of elasticity) বলা হয়।

যেহেতু পীড়ন বিকৃতির সমানুপাতী, তাই পীড়ন বনাম বিকৃতির লেখচিত্র, স্পষ্টত, একটি সরলরেখা হবে। পরীক্ষা থেকে পীড়ন ও বিকৃতির লেখচিত্র এঁকে হুকের সূত্রের সত্যতা যাচাই করা হয়।

চিত্র 16

2.6 বিভিন্ন স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক (Different modulus of elasticity)

আমরা দেখেছি, পীড়ন ও আনুষঙ্গিক বিকৃতি সাধারণত তিন প্রকারের হয়: অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও বিকৃতি, আয়তন-পীড়ন ও বিকৃতি এবং কৃন্তন-পীড়ন ও বিকৃতি। কাজেই স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কও তিন প্রকারের হয়:

(a) **ইয়ং-এর স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক,**

(b) **আয়তন-স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক,** ও

(c) **কাঠিন্য স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক।**

ইয়ং গুণাঙ্ক (Young's modulus): কোন বস্তুতে দৈর্ঘ্য বরাবর পীড়ন (অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন) ঘটালে আনুষঙ্গিক বিকৃতিও দৈর্ঘ্য বরাবর (অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি) ঘটে। হুকের সূত্রানুসারে, স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন ও অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুবক। এই ধ্রুবককে **ইয়ং গুণাঙ্ক** বলে। একে Y-চিহ্ন দ্বারা সূচিত করার রীতি।

$$\therefore \text{ ইয়ং গুণাঙ্ক} = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$$

অনুদৈর্ঘ্য বল F এর প্রভাবে যদি α প্রস্থচ্ছেদ এবং L দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট কোন বস্তুতে l পরিমাণ দৈর্ঘ্য-পরিবর্তন ঘটে তবে, অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন $= F/\alpha$ এবং অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি $= l/L$.

$$\therefore \quad Y = \frac{F/\alpha}{l/L}$$

আয়তন-গুণাঙ্ক (Bulk modulus): বল প্রয়োগে বস্তুর আয়তনগত বিকৃতি ঘটলে প্রযুক্ত পীড়নকে আয়তন-পীড়ন বলা হয়। হুকের সূত্রানুসারে, স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে আয়তন-পীড়ন ও আয়তন বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুবক। এই ধ্রুবককে **আয়তন গুণাঙ্ক** বলে, K দ্বারা এই গুণাঙ্ককে সূচিত করা হয়।

$$\therefore \text{ আয়তন গুণাঙ্ক} = \frac{\text{আয়তন-পীড়ন}}{\text{আয়তন বিকৃতি}}$$

ধর, কোন বস্তুতে P চাপ প্রয়োগের ফলে ওর প্রাথমিক আয়তন V-তে v পরিমাণ আয়তন-পরিবর্তন ঘটল। কাজেই আয়তন পীড়ন $=P$ এবং আয়তন বিকৃতি $=v/V$.

$$\therefore \quad K=\frac{P}{v/V}$$

K-র অন্যোন্যক অর্থাৎ $1/K$-কে **সংনম্যতা** (Compressibility) বলে।

$$\text{সংনম্যতা } C=1/K=\frac{v/V}{P}$$

কাঠিন্য গুণাঙ্ক (Rigidity modulus): বল প্রয়োগে বস্তুর কৃন্তন-বিকৃতি ঘটলে প্রযুক্ত পীড়নকে কৃন্তন পীড়ন বলে। হুকের সূত্রানুসারে, স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে কৃন্তন-পীড়ন ও কৃন্তন-বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুবক। এই ধ্রুবককে **কাঠিন্য গুণাঙ্ক** বলে। η দ্বারা এই গুণাঙ্ক সূচিত করার রীতি।

$$\therefore \text{ কাঠিন্য গুণাঙ্ক} = \frac{\text{কৃন্তন পীড়ন}}{\text{কৃন্তন বিকৃতি}}$$

ধর, বস্তুর তলে স্পর্শক বরাবর প্রযুক্ত বল P এবং α ঐ তলের ক্ষেত্রফল। অতএব কৃন্তন পীড়ন $=P/\alpha$; যদি কৃন্তন কোণ θ হয়, তা হলে কৃন্তন বিকৃতি $=\theta=\tan\theta$ (θ খুব ছোট বলে)

$$\therefore \quad \eta=\frac{P/\alpha}{\theta}=\frac{P/\alpha}{\tan\theta}$$

কাজেই, স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাতের সাধারণ নাম স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক; দৈর্ঘ্য বিকৃতির ক্ষেত্রে এই গুণাঙ্ককে ইয়ং গুণাঙ্ক, আয়তন বিকৃতির ক্ষেত্রে আয়তন গুণাঙ্ক, এবং কৃন্তন বিকৃতির ক্ষেত্রে কাঠিন্য গুণাঙ্ক বলা হয়।

2.7 গুণাঙ্কের একক (Units of modulus of elasticity)

সকল গুণাঙ্কই পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাত। অতএব,

$$\text{গুণাঙ্কের একক} = \frac{\text{পীড়নের একক}}{\text{বিকৃতির একক}} = \text{পীড়নের একক}$$

কেননা, বিকৃতি একজাতীয় দুটি রাশির অনুপাত বলে এককহীন নিছক সংখ্যা মাত্র। আর, পীড়ন = বল/ক্ষেত্রফল।

∴ গুণাঙ্কের একক = বলের একক/ক্ষেত্রফলের একক

= **ডাইন / বর্গ সেমি** (সি. জি. এস)

= **পাউণ্ড ভার / বর্গ ইঞ্চি** (এফ. পি. এস্)

কাজেই, ইস্পাতের ইয়ং গুণাঙ্ক 2×10^{12} —এ কথার অর্থ কোন ইস্পাত নির্মিত তারে প্রস্থচ্ছেদের প্রতি বর্গ সেমিতে 2×10^{12} ডাইন অনুদৈর্ঘ্য বল প্রযুক্ত হলে ঐ তারে 1 সেমি অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি ঘটে। তেমনি, ইস্পাতের আয়তন গুণাঙ্ক $18{\cdot}8\times10^{11}$ বললে বোঝায় যে, একটি ইস্পাতের তৈরি বস্তুতে $18{\cdot}8\times10^{11}$ ডাইন/বর্গ সেমি চাপ প্রযুক্ত হলে 1 মিমি. আয়তন বিকৃতি ঘটে। এবং ইস্পাতের কাঠিন্য গুণাঙ্ক $0{\cdot}85\times10^{12}$ কথার অর্থ এই যে, একটি ইস্পাতের ঘনকের নিচের স্থির তলের এক সেমি দূরে সমান্তরাল তলের স্পর্শক বরাবর প্রতি বর্গ সেমিতে $0{\cdot}85\times10^{12}$ ডাইন বল প্রয়োগে এক রেডিয়ান কৃন্তন কোণ উৎপন্ন ক'রে ঘনকের আকৃতির বিকৃতি ঘটে।

2.8 পয়সনের অনুপাত (Poisson's ratio)

যখন কোন বস্তুর দৈর্ঘ্য বরাবর প্রসারণ ঘটে, তখন বস্তুটিতে পার্শ্বীয় সংকোচন ঘটে। অর্থাৎ বস্তুটি বলের লম্ব অভিমুখে সংকুচিত হয়। বিপরীতপক্ষে, বস্তুর দৈর্ঘ্য বরাবর সংকোচন ঘটলে পার্শ্বীয় প্রসারণ দেখা দেয়। পার্শ্বীয় সংকোচন বা প্রসারণকে পার্শ্বীয় দৈর্ঘ্য (পরিবর্তন-পূর্ব দৈর্ঘ্য)-এর দ্বারা ভাগ করলে **পার্শ্বীয় বিকৃতি** (lateral strain) পাওয়া যায়।

প্রযুক্ত বল স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে হলে, পার্শ্বীয় বিকৃতি ও অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির অনুপাত একটি ধ্রুবক হয়। ঐ ধ্রুবককে **পয়সনের অনুপাত** বলে। σ দ্বারা একে সূচিত করা হয়।

$$\therefore \text{পয়সন অনুপাত} = \frac{\text{পার্শ্বীয় বিকৃতি}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$$

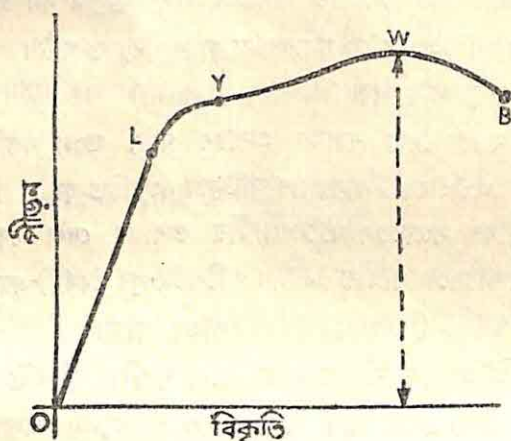
বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদের কোন তারের দৈর্ঘ্য L এবং ব্যাস D হলে যদি বল প্রয়োগে দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি l এবং ব্যাসের হ্রাস d হয় তবে,

$$\sigma = \frac{d/D}{l/L} = \frac{d.L}{l.D}$$

লক্ষ্য কর যে, পয়সন অনুপাত একজাতীয় দুটি রাশির অনুপাত। কাজেই এর কোন **একক নেই**। এটি নিছক একটি সংখ্যা মাত্র। এটি কিন্তু কোন **স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক নয়**। কেননা, এটি বিকৃতি ও বিকৃতির অনুপাত, পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাত নয়।

2.9 বিকৃতি-পীড়ন লেখচিত্র (Stress - strain curve)

দৃঢ় অবস্থান থেকে একটি ধাতব তারকে ঝুলিয়ে ওর নিচের প্রান্তে ক্রমাগত বিভিন্ন ওজন চাপিয়ে তারে বিভিন্ন পীড়ন আরোপ কর। বিভিন্ন ওজন চাপানোর ফলে দৈর্ঘ্যের যে প্রসারণ ঘটল তা থেকে বিভিন্ন পীড়নের আনুষঙ্গিক বিকৃতি নির্ণয় কর। অনুভূমিক অক্ষ বরাবর বিকৃতি এবং উল্লম্ব অক্ষ বরাবর পীড়ন বসিয়ে একটি লেখচিত্র আঁক। ঐ লেখচিত্রই **পীড়ন-বিকৃতি লেখচিত্র**। এই লেখ-র সাহায্যে পীড়ন ও বিকৃতির পারস্পরিক সম্পর্ক এবং স্থিতিস্থাপক পদার্থের আচরণ জানা যায়।

নমুনা হিসাবে নিচের চিত্রে একটি পীড়ন-বিকৃতি লেখ দেখানো হল। লেখ-র প্রথম অংশ—O থেকে L পর্যন্ত—একটি সরলরেখা। অর্থাৎ এ অংশে পীড়ন ও

চিত্র 17

বিকৃতি পরস্পর সমানুপাতী অর্থাৎ এখানে হুকের নিয়ম খাটছে। কাজেই O থেকে L পর্যন্ত অংশ **পূর্ণ স্থিতিস্থাপক অঞ্চল** (region of perfect elasticity)। L ছাড়িয়ে গেলে লেখ আর সরলরেখা থাকে না। কাজেই

L বিন্দু **স্থিতিস্থাপক সীমানা** (elastic limit) সূচিত করে। যদি পীড়ন আরও বাড়ানো হয় এবং আমরা Y বিন্দুতে আসি তবে পীড়নের অপসারণেও বস্তুটি আর পূর্বদৈর্ঘ্যে ফিরতে পারে না। অর্থাৎ বস্তুটি **স্থায়ী বিকৃতি** (permanent set) লাভ করে। পীড়ন আরও বাড়ালে, W বিন্দুতে এসে বস্তু ভেঙ্গে পড়ে। W বিন্দুকে **অসহ বিন্দু** (breaking point) বলে। ঐ বিন্দুর কোটি **অসহ পীড়ন** (breaking stress) বা **টানের চরম পীড়ন** (ultimate tensile stress) নির্দেশ করে। অসহ পীড়নকে প্রস্থচ্ছেদ দিয়ে গুণ করলে **অসহ ভার** (breaking load) এর পরিমাণ জানা যায়। LW অংশকে **নমনীয় বিকৃতির অঞ্চল** (region of plastic deformation) বলা হয়। লেখ-র WB অংশ বেশ মজার। এ অংশে পীড়ন কমলেও বিকৃতি বাড়ছে দেখা যায়। এ অবস্থায় বস্তুটি **প্রবাহী বস্তুর ন্যায়** আচরণ করে।

তালিকা 2.1 : স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক

(10^{11} ডাইন / বর্গ সেমি এককে)

পদার্থ	Y	η	K	σ
অ্যালুমিনিয়ম	7·1	2·5	7·7	0·34
তামা	11·7	4·5	13·5	0·35
সোনা	7·1	2·8-3·8	18·5	0·42
লোহা (ঢালাই)	11·0	5·0	—	0·27
লোহা (পেটা)	19·7	7·7	16·7	0·28
স্টিল	21	8·3	17·5	0·30
নিকেল	20·7	7·6	17·7	0·36
প্লাটিনম	15	6·3	26·0	0·38
রূপা	7	2·8	10·0	0·37
টিন	4	2	5·2	0·33
পারদ	—	—	2·6	—
জল	—	—	0·205	—

2.10 ইয়ং গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of Young's modulus)

যে পদার্থের ইয়ং গুণাঙ্ক নির্ণয় করতে হবে সেই উপাদানে তৈরি ও সর্বাংশে অনুরূপ দুটি তার A ও C নাও। তার দুটিকে একটি দৃঢ় অনুভূমিক অবলম্বন থেকে পাশাপাশি ঝুলিয়ে দাও। C তারের নিম্নপ্রান্তের কাছে মিলিমিটারে অংশাঙ্কিত একটি স্কেল Mm আঁটা থাকে। স্কেলের নিচে ঐ প্রান্তে একটি হুক D লাগানো। হুকে উপযুক্ত পরিমাণ ওজন ঝুলিয়ে C তারকে কুঞ্চনমুক্ত কর। A তারেও নিম্ন প্রান্তের কাছে একটি ভার্নিয়ার স্কেল V আঁটা থাকে। ভার্নিয়ারটি C তারের সংলগ্ন মিলিমিটার স্কেলের গা বেয়ে ওঠানামা করতে পারে। A তারেও কুঞ্চন দূর করার জন্য C তারের অনুরূপ হুক ও হ্যাঙ্গার ব্যবস্থা থাকে। A তারটিকে **পরীক্ষাধীন** তার ও C কে **সাহায্যকারী তার** বলা হয়।

প্রথমে মিটার স্কেলের সাহায্যে A তারের দৈর্ঘ্য (ঝুলনবিন্দু থেকে ভার্নিয়ার অবধি) L মাপ এবং স্ক্রু-গেজের সাহায্যে তারটির বিভিন্ন স্থানের ব্যাস তথা ব্যাসার্ধ নিরূপণ ক'রে তারের গড়-ব্যাসার্ধ r স্থির কর।

C A Mm V D B

চিত্র 18

তারপর A তারে ক্রমাগত ওজন চাপিয়ে মূল ও ভার্নিয়ার স্কেল থেকে তারটির আনুষঙ্গিক রৈখিক বৃদ্ধি নির্ধারণ কর। লক্ষ্য রাখবে যে, ব্যবহৃত সামগ্রিক ওজন যেন কখনই স্থিতিস্থাপক সীমা অতিক্রম না করে। অতঃপর ক্রমাগত ওজন সরাতে থাক এবং মূল স্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ নাও। সাধারণত কোন একটি নির্দিষ্ট ঝোলানো ওজনের ক্ষেত্রে বর্তমান পাঠ (ওজন হ্রাসকালীন) এবং পূর্বপাঠ (বৃদ্ধিকালীন পাঠ) একই দেখাবে। দুই পাঠে কিছু পার্থক্য হলে ওদের গড় নেবে। এভাবে ওজন বনাম দৈর্ঘ্য প্রসারণ (load-elongation) লেখ আঁক। দেখ, এটি মূলবিন্দুগামী একটি সরলরেখা। এ থেকে যে কোন ওজন W-র বেলায় দৈর্ঘ্য-প্রসারণ l-র মান জানা যায়।

গণনা : W ওজনে, লেখ থেকে দেখা গেল যে, দৈর্ঘ্য প্রসারণ $= l$

$\therefore$ পীড়ন $= W/\pi r^2$ এবং বিকৃতি $= l/L$

$\therefore$ ইয়ং গুনাঙ্ক $Y = WL/\pi r^2 l$

2.11 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. নিম্নলিখিত তথ্যাদি থেকে ইয়ং গুণাঙ্কের মান নির্ণয় কর : তারের দৈর্ঘ্য = 250 সেমি ; তারের ব্যাসার্ধ = 0.675 মিমি এবং 6 কিলোর দরুন গড় দৈর্ঘ্য প্রসারণ = 0·537 মিমি. **(ঢাকা বি. এস. সি 1944)**

এখানে, অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন $= 6 \times 1000 \times 981/\pi\,(0{\cdot}0675)^2$ ডাইন/বর্গ সেমি

অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি $= 0{\cdot}0537/250$

$$\therefore \text{ ইয়ং গুণাঙ্ক } Y = \frac{6 \times 1000 \times 981/\pi(0{\cdot}0675)^2}{0{\cdot}9537/250}$$

$$= \mathbf{19{\cdot}9 \times 10^{11}} \text{ ডাইন/বর্গ সেমি}$$

উদা. 2. 628 সেমি দৈর্ঘ্য এবং 2 মিমি ব্যাসের একটি ইস্পাত তারকে খাড়াভাবে ঝুলিয়ে ওতে কত কিলোগ্রাম ওজন চাপালে ওর অনুদৈর্ঘ্য প্রসারণ 1 মিমি হবে ? ইস্পাতের $Y = 2 \times 10^{12}$ সি. জি. এস এবং $g = 980$ সি. জি. এস একক। **(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1960)**

ধর, W কিলোগ্রাম ওজন চাপাতে হবে।

$$\therefore \text{ অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন} = \frac{W \times 1000 \times 980}{\pi\,(0{\cdot}2)^2/4}; \text{ অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি} = 0.1/628$$

$$\therefore\ Y = \frac{W \times 1000 \times 980/0{\cdot}1}{3{\cdot}14 \times 0{\cdot}01\ /628}$$

$$\text{বা } 2 \times 10^{12} = \frac{W \times 1000 \times 980 \times 628}{3{\cdot}14 \times 10^{-2} \times 10^{-1}}$$

সমাধানান্তে, $W = \mathbf{10{\cdot}2}$ **কিলো**

উদা. 3. একটি তামার বেলনের ব্যাস 6 মিমি। একে ওর দৈর্ঘ্যের 0·25 % প্রসারণ ঘটাতে কি পরিমাণ বলের প্রয়োজন হবে ? $Y = 11{\cdot}7 \times 10^{11}$ ডাইন/বর্গ সেমি।

$$\text{ইয়ং গুণাঙ্ক } Y = \frac{F/A}{l/L}$$

$F =$ বল, $A =$ প্রস্থচ্ছেদ, $l =$ দৈর্ঘ্য প্রসারণ, $L =$ দৈর্ঘ্য

$$\therefore\ F = AY(l/L) = \pi r.^2\ Y(l/L),$$

এখানে, $r =$ ব্যাসার্ধ $= 0{\cdot}3$ সেমি, $Y = 11{\cdot}7 \times 10^{11}$ ডাইন/বর্গসেমি, $l/L = 0{\cdot}25/100$

$\therefore\ Y = 3{\cdot}14 \times (0{\cdot}3)^2 \times 11{\cdot}7 \times 10^{11} \times 0{\cdot}25/100$
$= \mathbf{8{\cdot}26 \times 10^{8}}$ **ডাইন**

উদা. 4. 10 সেমি দৈর্ঘ্যের একটি অ্যালুমিনিয়ম ঘনককে $7{\cdot}5 \times 10^{10}$ ডাইন বলের দ্বারা স্পর্শক বরাবর পীড়িত করায় দেখা গেল, নিচের স্থির তলের তুলনায় উর্ধ্বতম তলের 0·03 সেমি সরণ ঘটেছে। অ্যালুমিনিয়মের দৃঢ়তা গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

সরল দৃঢ়তা গুণাঙ্ক $\eta = \dfrac{\text{স্পর্শক পীড়ন}}{\text{আনুষঙ্গিক বিকৃতি}} = \dfrac{\text{স্পর্শক বরাবর বল/ক্ষেত্রফল}}{\text{সরণ/মধ্যবর্তী দূরত্ব}}$

$= \dfrac{7.5 \times 10^{10}/(10)^2}{0{\cdot}03/10} = \mathbf{2{\cdot}5 \times 10^{11}}$ **ডাইন/বর্গ সেমি**

উদা. 5. অ্যালুমিনিয়মের একটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য 2 মিটার এবং ব্যাস 2 সেমি। 70 কিলো ভারে দৈর্ঘ্য 10 লক্ষে 30 ভাগ বাড়ে। অ্যালুমিনিয়মের পয়সনের অনুপাত 0·33 হলে ঐ ভারে প্রস্থ কতটুকু কমবে ?

এখানে, অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি $= 30/10{,}00000$; ধর, প্রস্থ হ্রাস $= x$ সেমি

অতএব, পার্শ্বীয় বিকৃতি $= x/2$ $\quad \therefore\ 0{\cdot}33 = \dfrac{x/2}{30/10{,}00000}$

$\therefore\ x = \mathbf{2 \times 10^{-5}}$ **সেমি**

উদা. 6. $1{\cdot}2 \times 10^{-5}/°C$ দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্কযুক্ত কোন ধাতব দণ্ডের উষ্ণতা 10°C বাড়ানো হল। যদি ঐ ধাতুর $Y = 20 \times 10^{11}$ সি. জি. এস. একক হয় তবে ঐ দণ্ডের প্রসারণ প্রতিরোধকারী অনুদৈর্ঘ্য পীড়নের মান কত ?

(**কলি : বি.এস.সি. 1956**)

যদি দণ্ডের প্রাথমিক ও উষ্ণতা বৃদ্ধিজনিত দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l ও l' দ্বারা সূচিত হয়, তবে

$$l' = l\,(1 + \alpha t),$$

$\alpha =$ দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক ; $t =$ উষ্ণতা বৃদ্ধি

$\therefore$ অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি $= \dfrac{l'-l}{l} = \alpha t = 1{\cdot}2 \times 10^{-5} \times 10 = 1{\cdot}2 \times 10^{-4}$

অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন $= Y \times$ বিকৃতি $= 20 \times 10^{11} \times 1{\cdot}2 \times 10^{-4}$

$= \mathbf{2{\cdot}4 \times 10^{8}}$ **ডাইন / বর্গ সেমি।**

অনুশীলনী

1. স্থিতিস্থাপকতা বলতে কি বোঝ? স্টিল ও ইণ্ডিয়া রবারের মধ্যে কোন্‌টি বেশি স্থিতিস্থাপক ও কেন?

2. নিম্নলিখিত বিষয়গুলোর সংজ্ঞা লেখ:
পীড়ন, বিকৃতি, স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক, ইয়ং গুণাঙ্ক, আয়তন গুণাঙ্ক, কৃন্তন কোণ, স্থিতিস্থাপক সীমা, সংনম্যতা।

3. হুকের নিয়ম কি? নিয়মটি ব্যাখ্যা কর। হুকের নিয়ম থেকে কি করে বিভিন্ন স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কের সংজ্ঞা স্থির করা হয়? হুক-সূত্রের সত্যতা কি করে যাচাই করবে?

4. কি করে পরীক্ষার সাহায্যে একটি ইস্পাত-তারের ইয়ং গুণাঙ্ক নির্ণয় করবে বল।

5. পীড়ন ও বিকৃতি কয়প্রকার ও কি কি? চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

6. সরল দৃঢ়তা গুণাঙ্ক বলতে কি বোঝ? ইস্পাতের সরল দৃঢ়তা গুণাঙ্ক 0.85×10^{12} ডাইন / বর্গ সেমি—এ কথার অর্থ কি?

7. 'অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন' ও 'অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি'-র সংজ্ঞা লেখ। ইয়ং গুণাঙ্ক কাকে বলে? সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ইয়ং গুণাঙ্কের একক কি হবে স্থির কর। **(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1960)**

8. একটি ইস্পাত তারকে কোন দৃঢ় অবস্থান থেকে ঝুলিয়ে ওর নিম্নপ্রান্তে ক্রমাগত ওজন চাপালে ঐ তারের যে আনুষঙ্গিক দৈর্ঘ্য-প্রসারণ ঘটে তাদের পারস্পরিক সম্পর্ক লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ কর। লেখচিত্রটি ব্যাখ্যা করে লেখ-লব্ধ তথ্যগুলো উপস্থাপিত কর।

9. 'পয়সন অনুপাত' বলতে কি বোঝ? পয়সন অনুপাত কি একটি ধ্রুব সংখ্যা? এটি কি একটি স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক?

10. পূর্ণ স্থিতিস্থাপকতা এবং স্থিতিস্থাপক সীমা বলতে কি বোঝ? দৃঢ় বস্তু কাকে বলে?

11. উষ্ণতা পীড়ন বলতে কি বোঝ ব্যাখ্যা কর। উষ্ণতা পীড়নের সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।

12. 0·4 সেমি ব্যাসের একটি তারে 25 কিলো ওজন চাপানো হল; ফলে ঐ তারের দৈর্ঘ্য 100 সেমি থেকে 102 সেমি হল। তারের উপাদানের ইয়ং গুণাঙ্ক কত? (কঃ বিঃ **1953**) [0.975×10^{10} ডাইন/বর্গ সেমি]

13. 300 সেমি দৈর্ঘ্যের এবং 0.5 মিমি ব্যাসার্ধের একটি তামার তার 10 কেজি ওজন চাপিয়ে টান করা হল। ওর অনুদৈর্ঘ্য প্রসারণের পরিমাণ কত? তামার $Y=1\cdot25\times10^{12}$, $g=981$. [0·299 সেমি]

14. একটি লোহার তারের দৈর্ঘ্য 2 মিটার এবং ব্যাস 1 মিমি। 8 কেজি ওজন চাপালে তারটির 1 মিমি প্রসারণ ঘটে। বিকৃতি, পীড়ন এবং লোহার ইয়ং গুণাঙ্কের মান নির্ণয় কর।

[$9\cdot984\times10^{8}$ ডাইন/সেমি^{2}; 5×10^{-4}; $1\cdot997\times10^{12}$ ডাইন/সেমি^{2}]

15. একটি উল্লম্বভাবে ঝুলানো তার নিজের ভারেই ভেঙ্গে পড়লো। তারটির দৈর্ঘ্য কত? তারের ঘনাঙ্ক = 10 গ্রাম / সিসি এবং তারটির অসহ পীড়নের পরিমাণ = $7\cdot84\times10^{9}$ ডাইন/বর্গ সেমি। [8×10^{5} সেমি]

16. 300 সেমি ব্যাসার্ধের একটি নিরেট বলকে কোন লেকের জলে এমন গভীরতায় ডোবানো হল যে, জলের দরুন চাপ = 1 কিলোগ্রাম-ভার/সেমি^{2}। যদি বলের উপাদানের আয়তন গুণাঙ্ক 1×10^{7} ডাইন/সেমি^{2} হয়, তবে ওর আয়তনের পরিবর্তন কত হল? (**বোম্বাই বি.এস.সি, 1950**) [1·386 সেমি]

17. কোন ধাতব দণ্ডের দৈর্ঘ্য 100 ইঞ্চি, ব্যাস 1 ইঞ্চি এবং ঐ ধাতুর ইয়ং গুণাঙ্ক 3×10^{6} পাউণ্ড/বর্গ ইঞ্চি, পয়সন অনুপাত 0·3; ওজন 1000 পাউণ্ড হলে ব্যাস বরাবর বিকৃতি কত? (**কলিঃ বি.এস.সি. 1958**) [0·000127]

18. দুটি বিভিন্ন উপদানে তৈরি তারের প্রত্যেকটির দৈর্ঘ্য 2 মিটার এবং ওদের ব্যাস যথাক্রমে 2 মিমি ও 3 মিমি। তার দুটির প্রত্যেকটিতে 10 কিলো ওজন চাপিয়ে দেখা গেল যে, একটি অপরটির দ্বিগুণ প্রসারিত হয়েছে। তারের উপাদান দুটির ইয়ং গুণাঙ্কের অনুপাত কত? [9 : 8]

19. বিকৃতি 0·001% হলে 10 মিটার দীর্ঘ কোন তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি কতটা হবে? তারের প্রস্থচ্ছেদ 2 বর্গ মিমি হলে এবং তারটিকে 1 কিলো ওজনের বল দ্বারা টানা হলে পীড়ন কত? [0·01 সেমি ; 49×10^{6} ডাইন/সেমি.]

———

3

তৃতীয় অধ্যায়

উদস্থিতি বিদ্যা (Hydrostatics)

3.1 ঘনাঙ্ক ও আপেক্ষিক গুরুত্ব (Density and specific gravity)

কোন পদার্থের **ঘনত্ব** বা **ঘনাঙ্ক** বলতে ঐ পদার্থের একক আয়তনের ভরকে বোঝায়। ধর, কোন পদার্থের আয়তন V এবং ওর ভর m ; তা হলে, সংজ্ঞানুসারে ঐ পদার্থের ঘনাঙ্ক

$$\rho=\frac{m}{V}.$$

সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ভরের একক গ্রাম এবং আয়তনের একক ঘন সেন্টিমিটার বা সি. সি.। অতএব, সি. জি. এস. পদ্ধতিতে **ঘনাঙ্কের একক গ্রাম / সি. সি.**। এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে ঘনাঙ্কের একক, স্পষ্টত, **পাউণ্ড/ঘনফুট**। জলের ঘনত্ব 1 গ্রাম / সি. সি. বা 62 5 পাউণ্ড / ঘনফুট।

আর **আপেক্ষিক গুরুত্ব** বলতে বোঝায়, ঐ বস্তুর যে কোন আয়তনের ওজন এবং সম-আয়তন কোন প্রমাণ বস্তুর ওজনের অনুপাত। কঠিন ও তরলের ক্ষেত্রে সাধারণত 4° C-এর জলকে প্রমাণ বস্তু হিসাবে ধরা হয় (4°C-এ জলের ঘনত্ব সর্বোচ্চ)।

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব } S=\frac{\text{পদার্থের ওজন}}{\text{4°C-এ সম-আয়তন জলের ওজন}}$$

ধর, $W=V$-আয়তন কোন বস্তুর ওজন

$M=$ ঐ V-আয়তন বস্তুর ভর

$W'=V$-আয়তন জলের (4°C-এ) ওজন

$M'=V$-আয়তন জলের (4°C-এ) ভর

$\rho=$ বস্তুর ঘনত্ব ; $\rho'=$ জলের ঘনত্ব

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক গুরুত্ব } S=\frac{W}{W'}=\frac{Mg}{M'}=\frac{M}{M'}$$

$$=\frac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{সম-আয়তন জলের (4°C-এ) ভর}}$$

আবার, $S=\frac{M}{M'}=\frac{M/V}{M'/V}=\frac{\rho}{\rho'}=\frac{\text{বস্তুর ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব } (4^{\circ}C\text{-এ})}$ ......(1)

কাজেই, আপেক্ষিক গুরুত্বের নিম্নোক্ত বিকল্প সংজ্ঞা দেওয়া যায়। আপেক্ষিক গুরুত্ব হল বস্তুর ঘনত্ব ও জলের ঘনত্বের ($4^{\circ}C$-এ) অনুপাত।

লক্ষ্য কর, আপেক্ষিক গুরুত্ব একজাতীয় দুটি রাশির অনুপাত বলে **এটি নিছক একটি সংখ্যা। এর কোন একক নেই।**

দ্রষ্টব্য ঃ উপরের সংজ্ঞায় জলের ঘনত্ব, ইত্যাদির উল্লেখকালে উষ্ণতার উল্লেখ করা হচ্ছে। কেননা রাশিগুলির মান উষ্ণতার সঙ্গে পরিবর্তিত হয়। অন্যান্য বস্তুর ক্ষেত্রেও তাই। তবে কঠিনে এটি উপেক্ষণীয়। অন্যান্য তরলের ক্ষেত্রে তা নয়।

3.2 আপেক্ষিক গুরুত্বের উষ্ণতা সংশোধন

(Temperature correction of specific gravity)

আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ে পরীক্ষাগারে যে জল ব্যবহৃত হয় তার উষ্ণতা প্রায়ই $4^{\circ}C$ হয় না। ফলে প্রয়োজনীয় সংশোধন আবশ্যক হয়ে পড়ে।

ধর, পরীক্ষায় ব্যবহৃত জলের উষ্ণতা $4^{\circ}C$; তা হলে প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব S হলে আমরা লিখতে পারি :

$$S=\frac{\text{বস্তুর ওজন}}{4^{\circ}C\text{-এ সম-আয়তন জলের ওজন}}=\frac{\text{বস্তুর ওজন}}{t^{\circ}C\text{-এ সম-আয়তন জলের ওজন}}\times\frac{t^{\circ}C\text{ এ ঐ জলের ওজন}}{4^{\circ}C\text{ এ ঐ জলের ওজন}}$$

3.3 আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনাঙ্কের পার্থক্য

(Difference between specific gravity & density)

সি জি এস পদ্ধতিতে $4^{\circ}C$-এ জলের ঘনত্ব $=1$ গ্রাম/সি সি.

$\therefore$ 1 নং সমীকরণ থেকে আপেক্ষিক গুরুত্বের মান = বস্তুর ঘনত্বের মান

$\therefore$ **বস্তুর ঘনাঙ্ক ও আপেক্ষিক গুরুত্ব সি. জি. এস. পদ্ধতিতে সমান** (সাংখ্যিকভাবে)।

কিন্তু এফ পি এস পদ্ধতিতে $4^{\circ}C$-এ জলের ঘনত্ব = 62·5 পাউণ্ড / ঘনফুট। কাজেই, এই পদ্ধতিতে ঘনাঙ্ক আপেক্ষিক গুরুত্বের 62·5 গুণ (সাংখ্যিকভাবে)।

কাজেই আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনাঙ্কের পার্থক্যগুলো হল :

(i) আপেক্ষিক গুরুত্ব নিছক একটি সংখ্যা। এর কোন একক নেই। কিন্তু

ঘনাঙ্ক সংখ্যা নয়, একটি এককযুক্ত (গ্রাম / সি.সি ; পাউণ্ড / ঘনফুট ইত্যাদি) রাশি।

(ii) সি. জি. এস পদ্ধতিতে (সাংখ্যিকভাবে) আপেক্ষিক গুরুত্ব = ঘনত্ব।

লক্ষ্য কর : **ঘনাঙ্ক = আপেক্ষিক গুরুত্ব × 1 গ্রাম/সি.সি.**

বা **ঘনাঙ্ক = আপেক্ষিক গুরুত্ব × 62·5 পাউণ্ড/ঘনফুট**

আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনত্ব নির্ণয়ের নানা পদ্ধতি আছে। আমরা সেগুলোর আলোচনা করছি না।

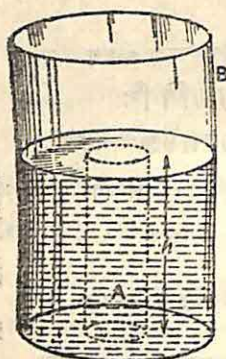
তালিকা 3.1 : কয়েকটি কঠিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব

পদার্থ	আঃ গুঃ	পদার্থ	আঃ গুঃ
অ্যালুমিনিয়ম	2·70	পিতল	8·4-8·7
হীরক	3·52	সীসা	11·37
গ্রাফাইট	2·3	নিকেল	8·9
তামা	8·93	রূপা	10·5
সোনা	19·32	প্লাটিনম	21·50
লোহা	7·1-7·7	কাঠ	0·5-1·1
ইস্পাত	7·7-7·9	মার্বেল	2·5-2·8
বরফ	0·917	কোয়ার্জ	2·66
বালি	2·63	মোম	0·87-0·93

3.4 তরলের মধ্যে কোন বিন্দুতে চাপ

(Pressure at a point inside a liquid)

ধর, তরলের মুক্ততল থেকে h-গভীরতায় A একটি বিন্দু। A বিন্দুতে চাপের পরিমাণ নির্ণয় করতে হবে। A-কে ঘিরে একক ক্ষেত্রফলের একটি অনুভূমিক তল কল্পনা কর। একক ক্ষেত্রফলের ঐ তলকে ভূমি ধরে তরলের মুক্ততল অবধি বিস্তৃত তরল-চোঙে যে তরল থাকে তার ওজন-ই হল A বিন্দুতে তরলের চাপ।

চোঙের আয়তন $= h \times 1$ ($\because$ ভূমির ক্ষেত্রফল $= 1$)

চোঙে তরলের ভর = আয়তন × ঘনত্ব

$= (h \times 1)\rho$ (ρ = তরলের ঘনত্ব)

$\therefore$ চোঙে তরলের ওজন = ভর × অভি-কর্ষজ ত্বরণ $= h\rho g$

$\therefore$ চাপ $P = h\rho g$

$\therefore$ **চাপ = বিন্দুর গভীরতা × তরলের ঘনত্ব × অভিকর্ষজ ত্বরণ।**

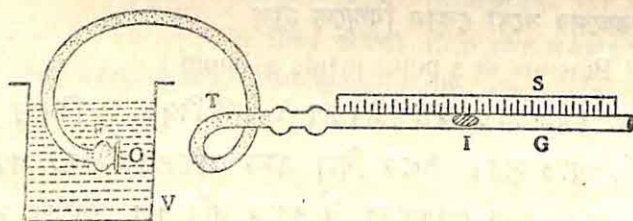
চিত্র 19

স্পষ্টত, গভীরতা বাড়লে চাপ বাড়বে ; কমলে কমবে। এজন্য চাপকে কখন কখন গভীরতার সাহায্যেও প্রকাশ করা হয়।

তরলের চাপ বলতে কি বোঝায় ? প্রতি একক ক্ষেত্রফলে তরল লম্বভাবে যে বল প্রয়োগ করে তা-ই হল **তরলের চাপ**। অতএব

$$\text{চাপ} = \frac{\text{প্রযুক্ত বল বা ঘাত}}{\text{ক্ষেত্রফল}}$$

তরল যে চাপ দেয় কয়েকটি সহজ পরীক্ষায় তা দেখানো যায়। গায়ে ফুটো-ওয়ালা একটা চোঙকে জলে ভর্তি কর। দেখ, ছিদ্র দিয়ে জল তীরবেগে বেরিয়ে আসছে। ফুটোর গভীরতা যত বেশি হবে, চাপও তত বাড়বে। একে পার্শ্বচাপ বলে। শুধু পার্শ্বচাপ নয়, তরলের মধ্যে যে কোন বিন্দুতে তরল পার্শ্ব, উর্ধ্ব ও নিম্ন সব দিকেই সমান চাপ দেয়। নিচের পরীক্ষায় তা প্রমাণ হয়।

একটা কাচের ফানেল F নিয়ে ওর মুখে রবারের পর্দা এঁটে দাও। রবার-নল T-র মাধ্যমে একটি সরু কাচনল G-র সঙ্গে ফানেলটি যুক্ত কর। কাচনলে এক

চিত্র 20

ফোঁটা রঙীন জল (বা পারদ) I ঢুকিয়ে ওকে একটি অনুভূমিক স্কেল S-র গায়ে

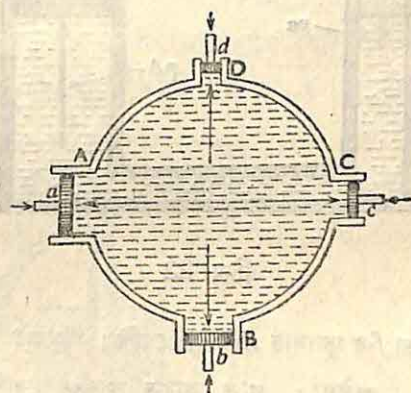
আটকে দাও। রবারের মুখে চাপ দিয়ে দেখ ফোঁটা ডানে সরছে; যত জোরে চাপবে তত ডানে সরবে। কাজেই ফোঁটার অবস্থান চাপের সূচক।

ফানেলটি নিম্নমুখী করে একটি জলপূর্ণ পাত্র V-তে ডোবাও। জলের ঊর্ধ্বচাপ পর্দায় পড়তেই সূচক ডানে সরল। একই গভীরতায় রেখে ফানেল ঊর্ধ্ব, নিম্ন ও পার্শ্বমুখী করে দেখ সূচক নড়ছে না। **একই অনুভূমিক তলে চাপ সমান।** চাপ $= h\rho g$ থেকেও তাই পাওয়া যায়।

3.5 পাস্কালের সূত্র (Pascal's law)

পাস্কালের সূত্র উদস্থিতি বিদ্যার অন্যতম মূল সূত্র। **সূত্রটি নিম্নরূপ :**

কোন আবদ্ধ তরলের (বা গ্যাসের) কোন অংশে চাপ প্রয়োগ করলে ঐ চাপ তরলের (বা গ্যাসের) সর্বত্র **অপরিবর্তিত মানে** সংবাহিত হয়। সংবাহিত চাপ তরল (বা গ্যাস) সংলগ্ন পাত্রের উপর **লম্বভাবে** ক্রিয়া করে।

ব্যাখ্যা : পাশের চিত্রে একটি গোলকাকার আবদ্ধ আধার জলপূর্ণ অবস্থায় রয়েছে। ধরা যাক, পাত্রের চারটি ছিদ্র A, B, C ও D চারটি জলনিরুদ্ধ পিস্টনে আটকানো। এবার A পিস্টনকে ভিতরের দিক চাপো। দেখ, B, C, D পিস্টনগুলো বাইরের দিকে সরছে। অর্থাৎ পিস্টনে প্রযুক্ত চাপ জল সর্বত্র সংবাহিত করলো।

চিত্র 21

ধর, a, b, c, d যথাক্রমে A, B, C ও D পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ, A পিস্টনকে P_1 বলে চাপলে B, C ও D পিস্টনে যে সরণ হয় তা বন্ধ করতে B, C ও D তে যদি যথাক্রমে P_2, P_3, P_4 বল প্রয়োগ করতে হয় তবে দেখা যায় যে,

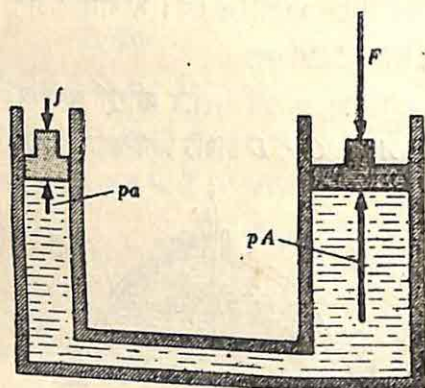
$$\frac{P_1}{a} = \frac{P_2}{b} = \frac{P_3}{c} = \frac{P_4}{d}$$

এখনে P_1/a হল A পিস্টনে প্রযুক্ত চাপ; আর $P_2/b, P_3/c, \cdots$ ইত্যাদি $B, C, \cdots$ ইত্যাদি পিস্টনে প্রদেয় চাপ। অর্থাৎ A পিস্টনে প্রযুক্ত চাপ জল অপরিবর্তিত মানে সর্বত্র সংবাহিত করেছে।

উল্লিখিত চাপগুলো যে পিস্টনে লম্বভাবে ক্রিয়া করছে তা পিস্টনের সরণের অভিমুখ থেকেই প্রমাণিত হচ্ছে।

3.6 পাস্কাল সূত্র থেকে ঘাতবৃদ্ধির নীতি

(Principle of multiplication of thrust)

নিচের চিত্রে পাত্রটি লক্ষ্য কর। এর প্রধান অংশ দুটি চোঙ—একটি মোটা, অন্যটি সরু। একটি নল-মাধ্যমে উভয়ে পরস্পর যুক্ত। দুই চোঙেই একটি করে জলনিরুদ্ধ পিস্টন ও পিস্টনের মাথায় ওজন রাখার পাটাতন আছে। পাত্রটি কোন তরলে, ধর জলে, পরিপূর্ণ। ওজন চাপিয়ে ছোট পিস্টনে নিম্নমুখী বল f প্রয়োগ কর। তাহলে, দেখা যাবে যে, বড় পিস্টনকে স্থির রাখতে ওতে F বল প্রয়োগ করতে হচ্ছে। ছোট ও বড় পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ, যথাক্রমে a, A হলে, পাস্কালের সূত্রানুসারে

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A} = p$$

বা, $$F = f.\frac{A}{a}$$

চিত্র 22

যেহেতু $A \gg a$, $F \gg f$.

কাজেই ঘাত বল f প্রয়োগ করে আমরা যে ঘাত F পাচ্ছি তা f-র তুলনায় A/a-গুণ বেশি। একেই **ঘাতবৃদ্ধির নীতি** বলে।

দ্রষ্টব্য : ঘাত কার্যত কতগুণ বেশি করা সম্ভব তার তত্ত্বত কোন ঊর্ধ্ব সীমা না থাকলেও পাত্রের দৃঢ়তার উপর নির্ভর করে। যে ঘাতে পাত্র ফেটে যাবে তা-ই কার্যত ঘাতবৃদ্ধির সীমা।

লক্ষ্য কর : এই ব্যবস্থায় আমরা পাস্কাল সূত্রের একটি তত্ত্বীয় প্রমাণ দিতে পারি।

ধর, f বলের ফলে ছোট পিস্টনের s_1 সরণ ঘটলো। তাহলে, as_1 পরিমাণ তরল বড় চোঙে প্রবেশ করলো। তরল যদি অসংনম্য (incompressible) হয় তবে ঐ পরিমাণ তরলকে আশ্রয় দিতে বড় পিস্টনের s_2 সরণ হবে। অতএব

$$as_1 = As_2 \qquad \ldots\ldots(2)$$

F_1 বল কর্তৃক কৃত কাজ $= F_1 s_1$; F_2 বল কর্তৃক কৃত কাজ $= F_2 s_2$

$\because$ ব্যবস্থাটিতে শক্তির সঞ্চয় নেই $\therefore$ $F_1 s_1 = F_2 s_2$ ......(3)

(1) ÷ (3) করে $\frac{F_1}{a} = \frac{F_2}{A}$; এই হল **পাস্কাল সূত্র**।

3.7 হাইড্রলিক প্রেস (Hydraulic Press)

পাস্কাল সূত্রের উপর ভিত্তি করে এই উদস্থৈতিক যন্ত্রটি নির্মিত। যন্ত্রবিদ্ ব্রামার নামানুসারে একে **ব্রামার প্রেস** (Bramah's Press)-ও বলে। এর সাহায্যে কাপড়, পাট, তুলা ইত্যাদির গাঁট চেপে ছোট করা, বীজ থেকে তেল বের করা, মেরামতি কাজের জন্য ভারি মোটর গাড়ি উঁচু করা ইত্যাদি কাজ করা হয়।

যন্ত্রের বিবরণ : নিচে যন্ত্রটির একটি চিত্ররূপ দেখানো হল। যন্ত্রের মূল অংশ দুটি চোঙ—একটি মোটা B, একটি সরু A। উভয়েই জলে ভর্তি থাকে এবং C নলপথে পরস্পর যুক্ত থাকে। চোঙ দুটির মধ্যে দুটি ধাতব পিস্টন P, R জল-নিরুদ্ধভাবে ওঠানামা করে। P পিস্টনটিকে ওঠানামা করানোর কাজে একটি লিভার L ব্যবহার করা হয়। লিভার ব্যবস্থায় একপ্রস্থ ঘাতবৃদ্ধি ঘটে। R পিস্টনের

চিত্র 23

মাথায় থাকে একটি প্ল্যাটফরম N। যে বস্তুকে পিষ্ট করতে হবে তা এর উপরে বসানো হয়। G ও N ফ্রেমের মধ্যে পেষণ কাজটি ঘটে। T একটি জলাধার।

ওখান থেকে সমস্ত ব্যবস্থাটিতে জল সরবরাহ করা হয়। জলাধার থেকে জলের গতিবিধি নিয়ন্ত্রণের জন্য V_1, V_2 ভালব এবং M স্টপককের ব্যবস্থা থাকে।

কার্যনীতি ঃ ধর, লিভারের প্রচেষ্টা বিন্দুতে W বল প্রয়োগ করা হল। F হল লিভারের ফালক্রাম। P পিস্টনটি ফালক্রাম থেকে x দূরত্বে লিভারের সঙ্গে যুক্ত। ফালক্রাম থেকে বলের প্রয়োগ বিন্দুর দূরত্ব y.

∴ লিভারের নীতি থেকে, বলের ভ্রামক নিয়ে (F বিন্দুর সাপেক্ষে)

$$F_1 x = Wy.$$

F_1 হল পিস্টনে প্রযুক্ত বল।

বা, $$F_1/W = y/x \quad (y > x) \qquad \ldots\ldots (4)$$

F_1 বলের দরুন P পিস্টন যখন নিম্নগতি পায় তখন ভালব V_2 খুলে যায় এবং ওর ভিতর দিয়ে জল B চোঙে ঢোকে। এ সময় V_1 ভালব বন্ধ থাকে। B চোঙে ঢুকে জল R পিস্টনে F_2 ঘাত প্রয়োগ করে। পাস্কাল সূত্রানুসারে,

$$F_2 = F_1 \beta/\alpha \qquad \ldots\ldots(5)$$

β ও α হল যথাক্রমে মোটা ও সরু চোঙের প্রস্থচ্ছেদ।

P-র ঊর্ধ্বগতিতে V_2 বন্ধ হয় ; V_1 খুলে গিয়ে T থেকে কিছু জলকে A-তে নিয়ে আসে। P পিস্টনের একটি পূর্ণগতিতে (ওঠা-নামা) কিছু জল B-এ প্রবেশ ক'রে ঘাত প্রয়োগ করে। এবং ক্রমে ক্রমে বস্তু পিষ্ট হয়। M স্টপকক খুলে B থেকে কিছু জলকে জলাধারে T-তে ফিরিয়ে নেওয়া যায়।

∴ (4) ও (5) থেকে চূড়ান্ত **যান্ত্রিক সুবিধা** (Mechanical Advantage)

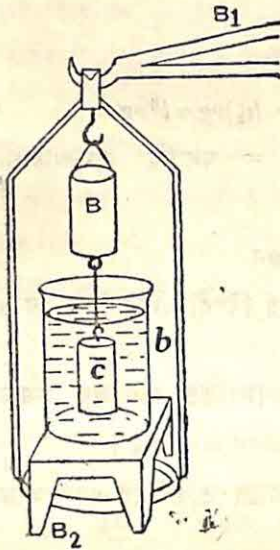
$$\text{M.A} = \frac{F_2}{W} = \frac{F_2}{F_1} \times \frac{F_1}{W} = \frac{\beta . y}{\alpha\, x}$$

3.8 আর্কিমিডিসের সূত্র (Archimedes' Principle)

কোন অদ্রবণীয় কঠিন পদার্থেকে কোন স্থির তরল বা গ্যাসীয় পদার্থে সম্পূর্ণ বা আংশিক ডোবালে পদার্থটির ওজনের আপাত হ্রাস ঘটে এবং হ্রাসের মাত্রা ঐ পদার্থ যে আয়তন তরল বা গ্যাসীয় পদার্থ অপসারিত করে তার ওজনের সমান।

এই হল আর্কিমিডিসের সূত্র। সূত্রটির সত্যতা সহজেই পরীক্ষার সাহায্যে প্রদর্শন করা যায়।

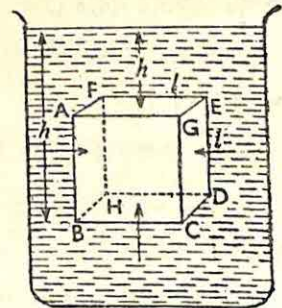
পরীক্ষা ঃ দুটি ধাতব চোঙ B ও C নাও। C চোঙটি নিরেট, B চোঙটি ফাঁপা। C-র বাইরের আয়তন B-র ভিতরের আয়তনের সমান। অর্থাৎ C-কে জলে ডোবালে যে পরিমাণ জল অপসারিত হবে B-র মধ্যে ঠিক ততটুকু জল ধরে।

B-র উপরে একটা আংটা এবং নিচে একটি হুক লাগানো। হুকের সঙ্গে C চোঙটি ঝুলিয়ে রাখা হয়। একটা তুলাদণ্ডের একদিকের হুক থেকে C ও B-কে, চিত্রে যেমন দেখানো হয়েছে, ঐ ভাবে ঝুলিয়ে দাও। ওজন নাও। তারপর একটা কাঠের সেতু B_2-র উপর জলভর্তি বীকার b রেখে C-কে বীকারের জলে ডুবিয়ে ওজন কর। দেখ, ওজন কম হচ্ছে। এখন B-র ভিতরটি কানায় কানায় জলপূর্ণ করে দাও। দেখ, ওজন ঠিক আগের সমান হল।

কাজেই দেখা গেল, নিরেট চোঙটি জলে ডোবানোর ফলে ওর ওজনের আপাত হ্রাস ঘটেছে এবং হ্রাসের পরিমাণ সম-আয়তন জলের ওজনের সমান। অর্থাৎ আর্কিমিডিস সূত্রের মূলকথার সত্যতা যাচাই হল।

চিত্র 24

3.9 আর্কিমিডিস সূত্রের প্রমাণ: প্লবতা (Proof of Archimedes' principle : Buoyancy)

আর্কিমিডিস তাঁর সূত্রে বলেছেন, কোন বস্তুকে তরল (বা গ্যাসে) ডোবালে বস্তুর ওজনের আপাত হ্রাস ঘটে এবং হ্রাসের পরিমাণ অপসারিত তরলের (বা গ্যাসের) ওজনের সমান। এখানে ঐ সূত্রের একটা গাণিতিক প্রমাণ দেওয়া হল।

মনে কর, *AEDB* ঘনকটি কোন তরলে সম্পূর্ণ ডুবে আছে। *AE* ও *DB* তল অনুভূমিক। ঘনকের সব কটি দেয়ালেই তরলের চাপ পড়ছে। কিন্তু চারপাশের দেওয়ালের চাপগুলো সমান ও বিপরীতমুখী বলে পরস্পরকে নষ্ট করে দেয়। কাজেই নিমজ্জিত ঘনকের উপর ক্রিয়াশীল বল হল: *AE* পৃষ্ঠের উপর নিম্নচাপ জনিত বল এবং *BD* পৃষ্ঠের উপর ঊর্ধ্বচাপের জন্য বলের মিলিত ফল।

চিত্র 25

ধর l = ঘনকের দৈর্ঘ্য ; ρ = তরলের ঘনাঙ্ক

h_2 = তরলের উপরিতল থেকে AE পৃষ্ঠের গভীরতা

h_1 = তরলের উপরিতল থেকে BD পৃষ্ঠের গভীরতা

AE পৃষ্ঠের উপর নিম্নচাপজনিত বল $= l^2 h_2 \rho g$

BD পৃষ্ঠের উপর উর্ধ্বচাপজনিত বল $= l^2 h_1 \rho g$

$\therefore$ ঘনকের উপর মোট উর্ধ্বঘাত $= l^2(h_1 - h_2)\rho g = l^3 \rho g$

কিন্তু l^3 = ঘনকের আয়তন ; $\therefore$ $l^3 \rho g$ = ঘনকের সম-আয়তন তরলের ওজন অর্থাৎ অপসারিত তরলের ওজন।

$\therefore$ মোট উর্ধ্বঘাত = অপসারিত তরলের ওজন

এই উর্ধ্বঘাতকে **প্লবতা** বলে। প্লবতা ওজনের বিপরীতদিকে ক্রিয়া করে বলে বস্তুর ওজনকে ঐ পরিমাণে কমিয়ে দেয়।

$\therefore$ আপাত ওজন হ্রাস = প্লবতা = অপসারিত তরলের ওজন

3. 10 ভাসন ও নিমজ্জন (Floatation and sinking)

কোন বস্তু অংশত বা পূর্ণত কোন তরলে ডোবালে তার উপর একই সঙ্গে দুটি উল্লম্ব বল ক্রিয়া করে ঃ

(i) **বস্তুর প্রকৃত ওজন** W—এই বল বস্তুর ভারকেন্দ্রে ক্রিয়া ক'রে বস্তুকে নিচের দিকে টানে।

(ii) **প্লবতা**—এই বল বস্তুকর্তৃক অপসারিত তরলের ভারকেন্দ্রে (প্লবতা কেন্দ্রে) ক্রিয়া ক'রে বস্তুকে উপরের দিকে ঠেলে। এই বলের মান W' অপসারিত জলের ওজনের সমান।

এই দুই বিপরীতমুখী উল্লম্ব বলের প্রভাবে বস্তুটির তিন প্রকার অবস্থা হতে পারে। যথা ঃ

(a) **ওজন প্লবতার চেয়ে বেশি**—অর্থাৎ বস্তুটির দ্বারা অপসারিত তরলের ওজনের চেয়ে বস্তুর ওজন বেশি ঃ $W > W'$। এক্ষেত্রে ঐ তরলে **বস্তুটি ডুবে যাবে**। এই কারণে এক টুকরো পাথর বা লোহা জলে ডুবে যায়।

বস্তুটি **সমসত্ত্ব** হলে $W = V\rho g$; V = বস্তুর আয়তন। ρ = বস্তুর ঘনাঙ্ক। আবার $W' = V\rho' g$; ρ' = তরলের ঘনাঙ্ক। কাজেই নিমজ্জনের শর্ত হল $V\rho g > V\rho' g$ বা $\rho > \rho'$ অর্থাৎ **বস্তুর ঘনাঙ্ক তরলের ঘনাঙ্কের চেয়ে বেশি** হতে হবে। (বস্তু সমসত্ত্ব হোক বা না হোক $W > W'$ হলে বস্তু সর্বদাই ডুববে)

(b) **ওজন প্লবতার চেয়ে কম**—এক্ষেত্রে বস্তুটি ঐ তরলে ভাসবে—কিছু অংশ থাকবে তরলে ডুবে, কিছুটা থাকবে তরলের উপরে। যে অংশটুকু ডুবে থাকে তার সম-আয়তন তরলের ভার বস্তুর ভারের সমান হয়। বস্তুর ঘনত্ব তরলের ঘনত্বের চেয়ে কম হলে বস্তুটি প্রথমে তরলে ডুববে এবং যত ডুববে তত অপসারিত তরলের ওজন W' বাড়বে। বাড়তে বাড়তে যখন $W'=W$ হবে তখন বস্তুটি আর ডুববে না, ঐ অবস্থায় ভাসবে।

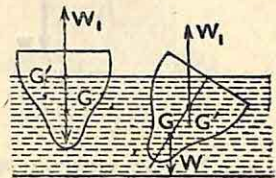
যদি জোর করে বস্তুটিকে আরও ডোবানো হয় তবে অতিরিক্ত বলের অধীনে বস্তুটি নিচে নামবে বটে, কিন্তু অতিরিক্ত বল সরালেই যে অবস্থানে $W'=W$ আবার সেখানে ভেসে উঠবে।

বস্তু সর্বোচ্চ যে পরিমাণ তরল অপসারণ করে তার আয়তন নিজ আয়তনের সমান। অতএব W'-র সর্বোচ্চ মান $= V\rho'g$। কাজেই ভাসনের শর্ত হলঃ $V\rho'g > V\rho g$ বা $\rho < \rho'$ অর্থাৎ **বস্তুর ঘনাঙ্ক তরলের ঘনাঙ্কের চেয়ে কম।**

(c) **ওজন = প্লবতা** অর্থাৎ $W = W'$; এক্ষেত্রে বস্তুটি তরলের ভিতর **যে কোন স্থানে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত অবস্থায় স্থির হয়ে থাকবে** এবং সে সময় ওর আপাত ওজন শূন্য হবে। কোন সমসত্ব বস্তুর ঘনাঙ্ক ও তরলের ঘনাঙ্ক এক হলে এই অবস্থার সৃষ্টি হতে পারে।

3.11 সাম্যে ভাসনের শর্তাবলী

(Conditions of equilibrium)

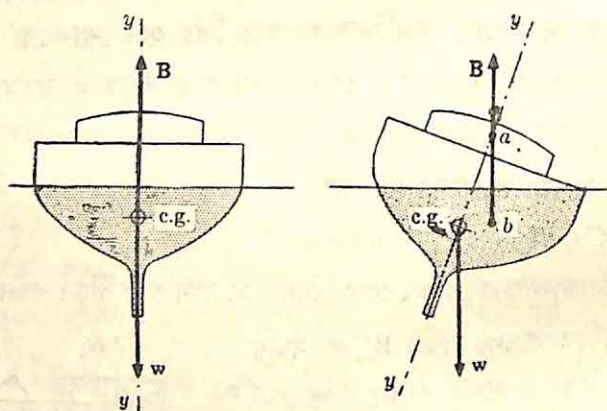
উপরের আলোচনা থেকে বোঝা গেল যে, যখন বস্তুর প্রকৃত ওজন W বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরলের ওজন W_1-র সমান হবে তখন বস্তু ভাসবে। কিন্তু এর অর্থ এই নয় যে, তা হলেই বস্তু সাম্যে থাকবে। বলাধীন বস্তুর সাম্যের শর্তানুসারে, বস্তুতে প্রযুক্ত নীট বল এবং নীট টর্ক শূন্য হতে হবে। যদি W এবং W_1 সমরৈখিক না হয় তবে উভয়ে মিলে একটি দ্বন্দ্ব গঠন করবে এবং ফলে বস্তুতে ঘূর্ণন দেখা দেবে। কাজেই সাম্যের শর্ত হিসাবে ঐ দ্বন্দ্বের টর্ক শূন্য হতে হবে অর্থাৎ W এবং W_1 সমরৈখিক হওয়া চাই। কাজেই ভাসনের ক্ষেত্রে সাম্যের শর্ত হল দুটিঃ

চিত্র 26

(i) বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরলের ওজন বস্তুর ওজনের সমান হবে (**ভাসনের শর্ত**) এবং

(ii) বস্তুর ভারকেন্দ্র G এবং অপসারিত তরলের ভারকেন্দ্র বা প্লবতা কেন্দ্র G' একই উল্লম্ব রেখায় অবস্থিত হবে (**সাম্যের শর্ত**)।

3.12 ভাসমান বস্তুর সাম্যের স্থিরতা (Stability of equilibrium)

নিচে প্রথম চিত্রে বস্তুটি তরলে স্থিরভাবে ভাসমান। এক্ষেত্রে ভারকেন্দ্র ও প্লবতা কেন্দ্রের সংযোজক রেখাটি একটি উল্লম্ব রেখা। একে **কেন্দ্রীয় রেখা** (Central line) বলে। দ্বিতীয় চিত্রটিতে কোন বলের প্রভাবে বস্তুটি হেলে গেছে। ফলে প্লবতা কেন্দ্র b বিন্দুতে সরে গেছে। এবং দ্বন্দ্বের সৃষ্টি হচ্ছে ও বস্তুতে ঘূর্ণন প্রবণতা দেখাচ্ছে। দ্বন্দ্বের টর্কের উপরই বস্তুর সাম্য **সুস্থির** (stable) কি **অস্থির** (unstable) তা নির্ভর করছে।

যদি নতুন প্লবতাকেন্দ্রগামী উল্লম্ব রেখা কেন্দ্রীয় রেখাকে বস্তুর ভারকেন্দ্রের উপরে ছেদ করে তবে দ্বন্দ্ব বস্তুকে হেলানো দিকের বিপরীতে ঘুরিয়ে সাম্য ফিরিয়ে আনবে। এ অবস্থাকে **সুস্থির সাম্য** বলে। আর যদি ঐ দুই রেখার ছেদবিন্দু

চিত্র 27

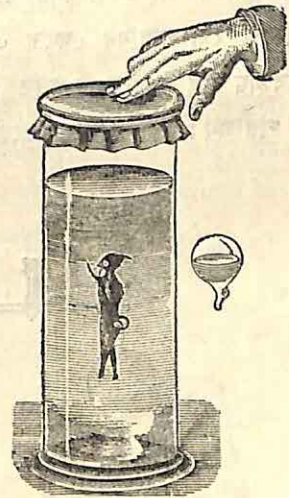
c.g-র নিচে হয় তবে সৃষ্ট দ্বন্দ্ব বস্তুকে হেলানো দিকে আরও ঘুরিয়ে সাম্য অবস্থা নষ্ট করবে। এ অবস্থাকে **অস্থির সাম্য** বলে। (উল্লিখিত রেখাদ্বয়ের ছেদবিন্দুর a-র নাম **মেটাসেণ্টার**—metacentre)।

3.13 ভাসন ও নিমজ্জনের দৃষ্টান্ত (Examples of floatation and sinking)

বরফ জলে ভাসে—জল জমে বরফ হয়। কিন্তু সেই বরফ জলে ভাসে

কেন? ভাসনের শর্তানুযায়ী, বরফের ওজন তার সম-আয়তন জলের চেয়ে কম হওয়ায় বরফ জলে ভাসে। দেখা গেছে, 1 ঘন সেমি (সি. সি) জলের ওজন 1 গ্রাম, কিন্তু 1 সি. সি. বরফের ওজন 0.92 গ্রাম। কিন্তু এই বরফ আবার কোহল তরলে ডুবে যায়। কেননা 1 সি. সি. জলের ওজন 1 সি. সি. কোহলের চেয়ে বেশি।

লোহা জলে ডোবে, কিন্তু লোহার জাহাজ জলে ভাসে—এক টুকরো লোহা জলে ডুবে যায়। কিন্তু লোহার তৈরি বিরাট জাহাজ ভেসে থাকে। কেন? জাহাজের খোলের ভিতরটা ফাঁপা। ফলে জাহাজের-নিমজ্জিত অংশের দ্বারা অপসৃত জলের ওজন জাহাজের ওজনের সমান হয়ে জাহাজ ভাসে। ওজন বাড়লে জাহাজের আরও কিছু অংশ জলের নিচে যায়; অপসৃত জলের ওজন বৃদ্ধি পায়। অর্থাৎ প্লবতা বাড়ে এবং সাম্য বজায় থাকায় জাহাজ ভেসে থাকে। অতিরিক্ত বোঝাই করলে অবশ্য জাহাজ ডুবে যেতে পারে।

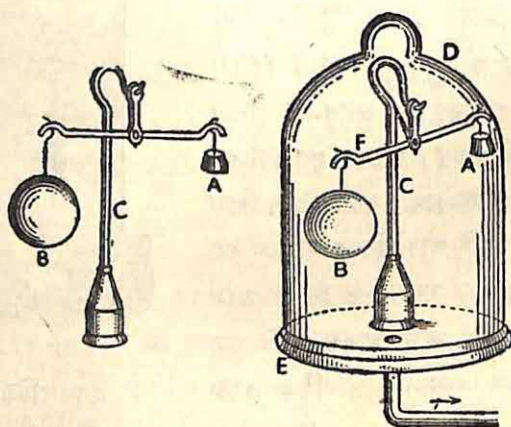
কার্টেসীয় ডাইভার—এটি একটি বিশেষ ধরনের পুতুল। এর উদ্ভাবক বিজ্ঞানী দেকার্তে। পুতুলটির আসল অংশ একটি কাচের বাল্ব, এর নিচের দিকে একটি ছিদ্র থাকে। ভিতরে জল ও বায়ু ভর্তি; জল ও বায়ুর অনুপাত এমন যে, এটি জলে ঠিক ভেসে থাকে। নিরেট কোন পুতুলের সঙ্গে বাল্বটি লাগিয়ে একে ডুবুবীর আকার দেওয়া হয়। একটা লম্বা কাচের জারে জল নিয়ে পুতুলটি ছেড়ে দেওয়া হয়। জারের মুখ রবারের টান করা পর্দায় আটকানো, রবারে চাপ দিলে জলের উপরে চাপ বৃদ্ধি পায়, জলের মাধ্যমে এই চাপ বাল্বের বায়ুতেও সংবাহিত হয়। ফলে বাল্বে বায়ুর আয়তন কমে, আরও বেশি জল বাল্বে ঢোকে, এবং পুতুলের সামগ্রিক ওজন অপসারিত জলের ওজনের চেয়ে বেশি হয়, পুতুল ডুবে যায়। পর্দার উপর চাপ সরালে, বাল্বের বায়ুর প্রসারণ ঘটে, কিছু জল বেরিয়ে যায়, পুতুল হাল্কা হয়ে উপরে উঠে আসে।

চিত্র 28

সাবমেরিন: সাবমেরিনের গঠন এমন যে, সাধারণ জাহাজের মতো এ-ও জলে ভাসে। এর ছুটি কক্ষ থাকে—একটি অন্যটির ভিতরে। ভিতরের কক্ষটি বাইরেরটির তুলনায় অনেক সুদৃঢ়। ছুই কক্ষের অন্তবর্তী অংশ কতকগুলো চেম্বারে বিভক্ত। যখন চেম্বারগুলো বায়ুভর্তি থাকে তখন সাবমেরিন ভেসে ওঠে। যখন চেম্বারগুলো জলে ভর্তি থাকে তখন সাবমেরিন জলের তলায় চলে যায়। জলের নিচু থেকে উপরে উঠতে হলে পাম্পের সাহায্যে চেম্বারগুলো থেকে জল বের করে দেওয়া হয়।

3.14 গ্যাসে আর্কিমিডিসের নীতি

(Archimedes' principle in gases)

আর্কিমিডিসের নীতি গ্যাসের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য একথা আগে উল্লেখ করা হয়েছে। কাজেই কোন বস্তু বায়ুতে বা অন্য কোন গ্যাসীয় পদার্থে নিমজ্জিত করলে গ্যাসও বস্তুতে উর্ধ্বঘাত বা প্লবতা প্রয়োগ করবে এবং এই উর্ধ্বঘাত বস্তু কর্তৃক অপসারিত গ্যাসের সমান হবে। এ কারণে, বায়ুতে কোন বস্তু ওজন করলে তা বস্তুটির প্রকৃত ওজনের চেয়ে সামান্য কম হবে। কিন্তু এই পরিমাণ এত সামান্য যে, সাধারণ ক্ষেত্রে এই পার্থক্য বোঝা যায় না। উপযুক্ত পরীক্ষা ব্যবস্থায় বায়ু বা গ্যাসের প্লবতা প্রমাণ করা যায়।

পরীক্ষা: পরীক্ষার জন্য প্রয়োজনীয় যন্ত্রের নাম **ব্যারোস্কোপ** (baroscope)।

চিত্র 29

এটি মূলত একটি তুলাযন্ত্র, তবে কোন তুলাপাত্র থাকে না, বদলে ছু-প্রান্তে ছুটি বস্তু ঝুলানো থাকে। বামপ্রান্তের বস্তুটি ফাঁপা কাচগোলক, দক্ষিণেরটি সীসার

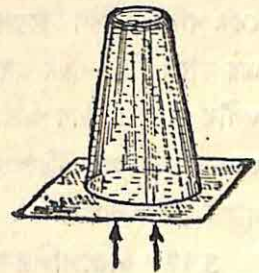
বাটখারা। গোলকের আয়তন বাটখারার চেয়ে বেশি ; ফলে বায়ুর প্লবতা গোলকে বেশি হবে, প্লবতাজনিত ওজন হ্রাসও বেশি হবে। কিন্তু প্রথমে বায়ুতে বাটখারা এমন নেওয়া হয় যে, গোলক ও বাটখারার আপাত ওজন সমান হয় এবং তুলাদণ্ড অনুভূমিক থাকে।

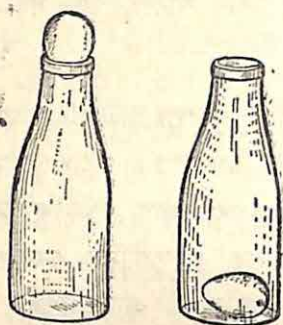
এবার সমস্ত ব্যবস্থাটিকে একটি বায়ু নিষ্কাশক পাম্পের পাটাতনে রেখে বড় কাচপাত্রে ঢাকা দাও। জোড়মুখ ভেসেলিনে বায়ু নিরুদ্ধ কর। পাম্পের সাহায্যে কাচপাত্রের ভিতরের বায়ু বের করে নিয়ে দেখ, তুলাদণ্ড আর অনুভূমিক নেই ; গোলক ভারি দেখাচ্ছে। অর্থাৎ বায়ু না থাকায় প্লবতাজনিত ওজন-হ্রাসও নেই ; গোলক ও বাটখারা তাদের প্রকৃত ওজন দেখাচ্ছে। প্রথমে প্লবতার জন্য গোলকের ওজন-হ্রাস বেশি ছিল বলে ওর প্রকৃত ওজন বাটখারার চেয়ে বেশি ছিল। তাই এখন গোলক ভারি দেখাচ্ছে।

3.15 বায়ুচাপ ও তার পরিমাপ
(Air pressure and its measurement)

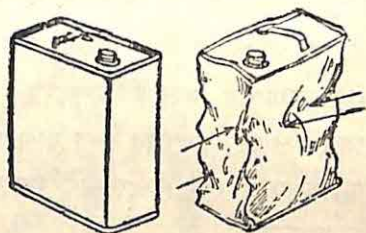
পৃথিবীকে ঘিরে চারদিকে একটা স্থায়ী অথচ অদৃশ্য আবরণ আছে। এর নাম **বায়ুমণ্ডল**। অভিকর্ষের ফলে বায়ু পৃথিবীর পৃষ্ঠলগ্ন হয়ে এই মণ্ডলের সৃষ্টি করেছে। ভূ-পৃষ্ঠ থেকে কয়েক শ' কিলোমিটার অবধি এই বায়ুমণ্ডল বিস্তৃত। বায়ুমণ্ডলকে পর পর বহুসংখ্যক স্তরে বিভক্ত ধরে নিলে এক একটি স্তর তাদের ওজনের ফলে নিচুর বায়ুস্তরে সর্বদাই চাপ দেয়। এই চাপকে **বায়ু চাপ** (air pressure) বলে। স্পষ্টত, ভূ-পৃষ্ঠের উপর বায়ুচাপ সবচেয়ে বেশি। যত উপরে ওঠা যায়, বায়ুচাপ তত কমে। কেননা, উপরে উঠলে চাপ দেওয়ার স্তরের সংখ্যা ক্রমশ কমতে থাকে।

3.16 বায়ুচাপ সংক্রান্ত পরীক্ষা
(Experiments on air pressure)

পরীক্ষা 1 : কানায় কানায় ভর্তি একটি জলের গ্লাস নাও। তার উপরে একটা কার্ডবোর্ড চেপে বসাও। লক্ষ্য রেখ, গ্লাসের ভিতরে যেন একটুও বায়ু না থাকে। বোর্ডখানা এক হাতে চেপে গ্লাসটি উপুড় কর। এবার কার্ডবোর্ড থেকে হাত সরিয়ে নাও। দেখ, সামান্য একটা কাগজ

চিত্র 30

ঠেলে জল বেরুচ্ছে না। কে যেন কার্ডবোর্ড চেপে রেখেছে। বায়ু কার্ডবোর্ডের উপর **উর্ধ্বদিকে চাপ** দিয়ে জলের নিম্নগতি ঠেকিয়ে রেখেছে।

পরীক্ষা 2 : একটা ডিম সিদ্ধ করে খোসা ছাড়িয়ে নাও। এমন একটা বোতল নাও যার মুখে ডিমটি লম্বালম্বি বসালে খানিকটা বোতলের মুখে ঢোকে। এবারে কিছু তুলো স্পিরিটে ভিজিয়ে আগুন ধরাও এবং বোতলে ঢুকিয়ে দাও। আগুন নিভে যাওয়ার সঙ্গে সঙ্গে ডিমটি লম্বালম্বি বোতলের মুখে বসাও। বোতল ঠাণ্ডা হলে দেখ, ডিমটি বোতলে ঢুকে পড়ল বা সজোরে মুখে লেগে গেল। তুলো পোড়ার সময় বোতলের বায়ু গরম হয়ে বেরিয়ে যায় এবং ফলে বায়ুর চাপ কমে যায়। বাইরের **বায়ুর নিম্নচাপে** ডিমটি বোতলে ঢোকে বা সজোরে মুখে এঁটে যায়।

চিত্র 31

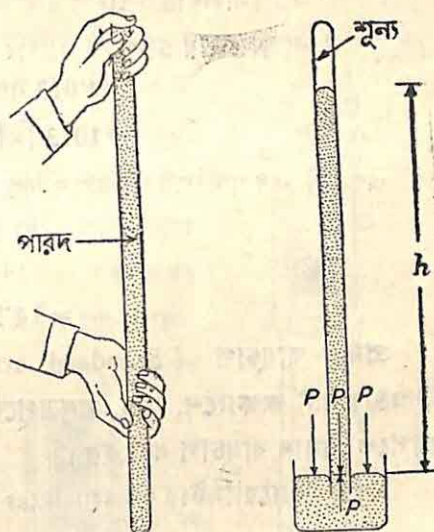
পরীক্ষা 3 : ছোট মুখওয়ালা ও পাতলা টিনের একটা পাত্র নাও। ওতে কিছু জল নিয়ে ফোটাও। জল বাষ্প হয়ে ভিতরের বায়ু ঠেলে বের করে দেবে এবং ক্রমে সে জায়গা নিজে অধিকার করবে। এ অবস্থায় পাত্রের মুখ এঁটে বন্ধ কর এবং ঠাণ্ডা হতে দাও। কিছুক্ষণ পরে দেখ, পাত্রটি চ্যাপ্টা হয়ে দুমড়ে গেছে। এর কারণ কি? গরম অবস্থায় ভিতরের জলীয় বাষ্পের চাপ ও বাইরের বায়ুচাপ সমান। ঠাণ্ডায় বাষ্প ঘনীভূত হয়ে জলে পরিণত হলে ভিতরের চাপ কমে যায়। তখন বাইরের **বায়ুর পার্শ্বচাপে** পাত্রটি দুমড়ে যায়।

চিত্র 32

3.17 টরিসেলির পরীক্ষা

(Torricelli's experiment)

এক মুখ খোলা এবং প্রায় এক মিটার লম্বা একটা মোটা কাচনল নিয়ে

টরিসেলি সেটি পুরোপুরি শুকনো পারদে ভর্তি করলেন। তারপর খোলামুখ আঙুল দিয়ে বন্ধ করে পারদভর্তি নলটি আর একটি পারদপূর্ণ পাত্রে উপুড় করে দাঁড় করালেন এবং আঙুল সরিয়ে নিলেন। দেখা গেল, নল থেকে খানিকটা পারদ পারদপাত্রে নেমে গেল; নলের মধ্যে প্রায় 76 সেমি (30 ইঞ্চি) পারদস্তম্ভ দাঁড়িয়ে রইল (চিত্র 33)।

পারদস্তম্ভপূর্ণ নলটি টরিসেলি নানাভাবে কাত করে লক্ষ্য করলেন যে, প্রতিবারই পাত্রের পারদতল থেকে নলের পারদতলের খাঁড়া উচ্চতা ঐ 76 সেমি-ই হচ্ছে। এ থেকে টরিসেলি সিদ্ধান্ত করলেন যে, বায়ুচাপই এর কারণ। বায়ুর নিম্নচাপ পারদের মধ্যে পরিচালিত হয়ে ঐ পারদস্তম্ভকে ধরে রাখছে। বায়ুচাপ না থাকলে পারদ অভিকর্ষে নল থেকে নিচে নেমে যেত। বায়ুচাপ ও পারদের ওজনজনিত চাপ সমান হওয়াতেই পারদস্তম্ভ সাম্যাবস্থায় রয়েছে। কাজেই **পারদস্তম্ভের উচ্চতা** থেকে আমরা বায়ুচাপ কত জানতে পারি।

চিত্র 33

ধর $h=$ পারদপাত্রের পারদতল থেকে পারদস্তম্ভের উচ্চতা এবং $\rho=$পারদের ঘনাঙ্ক। তা হলে, পারদস্তম্ভের চাপ $=h\rho g$। যেহেতু বায়ুমণ্ডলীয় চাপ P ঐ পারদস্তম্ভের চাপের সমান,

$$\therefore\ P=h\rho g$$

টরিসেলির শূন্যস্থান (Torricellian vacuum)—নলের ভিতরে পারদস্তম্ভের উপরে যে জায়গাটুকু রয়েছে তা বায়ুশূন্য। এ অঞ্চলটিকে **টরিসেলির শূন্যস্থান** বলে। নলটি কাত করলে পারদ অনায়াসে এ স্থানে প্রবেশ করে। বায়ু থাকলে তা হত না। তবে জায়গাটি একেবারে শূন্য নয়, কিছু পারদ বাষ্প এখানে থাকে।

3.18 বায়ুচাপের পরিমাণ
(Magnitude of atmospheric pressure)

সমুদ্রপৃষ্ঠে বায়ুচাপ যে পারদস্তম্ভকে ধরে রাখে তার উচ্চতা = 76 সেমি.

$\therefore$ বায়ুচাপ $= h\rho g$

$= 76 \times 13.6 \times 980$ (ρ = পারদের ঘনাঙ্ক)

$= 1.013 \times 10^6$ ডাইন/বর্গ সেমি

10^6 ডাইন/বর্গ সেমিকে 1 **বার** (bar) বলা হয়। সেই হিসাবে :

1 মিলিবার $= 10^{-3}$ বার $= 10^3$ ডাইন/বর্গ সেমি

$\therefore$ 1 **বায়ুমণ্ডলীয় চাপ** $= 1.013 \times 10^6$ ডাইন/বর্গ সেমি

$=$ **1.013 বার**

$=$ **1013 মিলিবার**

এফ. পি. এস পদ্ধতিতে বায়ুচাপ $= h\rho g$

$$= \frac{30 \times 13.6 \times 62.5}{12 \times 12 \times 12}$$

$= 14.7$ পাউণ্ড ভার/বর্গ ইঞ্চি

প্রমাণ বায়ুচাপ (Standard atmospheric pressure) : **0°C উষ্ণতায় 45° অক্ষাংশে, গড় সমুদ্রপৃষ্ঠে 76 সেমি উচ্চ পারদস্তম্ভের চাপকে প্রমাণ বায়ুচাপ ধরা হয়।**

3.19 ব্যারোমিটার (Barometer)

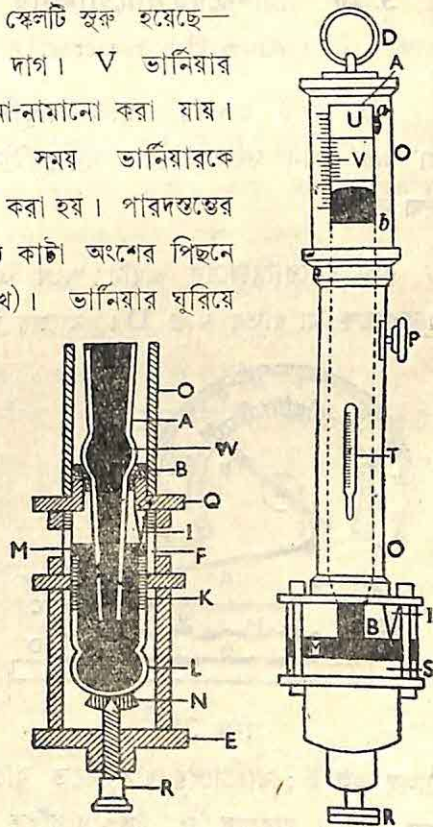
যে যন্ত্রের সাহায্যে বায়ুর চাপ মাপা যায় তাকে **ব্যারোমিটার** বলে। ব্যারোমিটার যন্ত্র নানা ধরনের হতে পারে।

সরল ব্যারোমিটার (Simple barometer) : টরিসেলির পরীক্ষা ব্যবস্থাকেই **সরল ব্যারোমিটার** বলে। কাচনলের ভিতরের পারদস্তম্ভের খাড়া উচ্চতাই বায়ুচাপের পরিমাণ।

সরল ব্যারোমিটার দিয়ে বায়ুচাপ ও তার হ্রাসবৃদ্ধি মাপা অসুবিধাজনক। তাই পরীক্ষাগারে বা আবহাওয়া অফিসে **ফর্টিনের ব্যারোমিটার** নামে এক বিশেষ ব্যারোমিটার ব্যবহার করা হয়।

ফর্টিনের ব্যারোমিটার (Fortin's barometer) : এটিও একটি পারদ-আধারযুক্ত (cistern type) ব্যারোমিটার। এর প্রধান অংশ দুটি— (i) **কাচ নল** ও (ii) **পারদ আধার**।

কাচনলটি লম্বায় প্রায় 1 মিটার। উপর ও নীচের কিছু অংশ ছাড়া প্রস্থচ্ছেদ সর্বত্র সমান—প্রায় 1 বর্গ সেমি। এর একমুখ বন্ধ। বিশুদ্ধ শুকনো পারদে নলটি ভর্তি করে ওকে উল্টিয়ে বিশুদ্ধ পারদে ভর্তি একটি বিশেষ আধারে খাড়াভাবে রাখা থাকে। সমগ্র যন্ত্রটিকে বাইরের আঘাত থেকে রক্ষা করার জন্য একটি পিতলের নলে OO-র ভিতরে রাখা হয়, আর নলটি একটি কাঠের ফ্রেমে হুক D-র সাহায্যে লম্বভাবে ঝুলানো থাকে। ভিতরের কাচনলে পারদের উচ্চতা কত তা দেখার জন্য পিতলের নলের উপর দিকে পরস্পর বিপরীত দুটি ছিদ্র কাটা থাকে। এই কাটা অংশের দুধারে দুটি প্রধান স্কেল—একটি সেণ্টিমিটারে, একটি ইঞ্চিতে লাগানো। নিচের পাত্রের ঢাকনা থেকে ঝুলানো একটি হাতির দাঁতের সূক্ষ্ম প্রান্ত I থেকে স্কেলটি সুরু হয়েছে—অর্থাৎ ঐ অগ্রভাগ স্কেলের শূন্য দাগ। V ভার্নিয়ার স্কেলকে P স্ক্রুর সাহায্যে ওঠানো-নামানো করা যায়। ব্যারোমিটারের পাঠ নেওয়ার সময় ভার্নিয়ারকে পারদস্তম্ভের উত্তল পৃষ্ঠের সঙ্গে স্পর্শক করা হয়। পারদস্তম্ভের উত্তল পৃষ্ঠকে ভালভাবে দেখার জন্য কাটা অংশের পিছনে একটা সাদা পাত *ab* থাকে (চিত্র দেখ)। ভার্নিয়ার ঘুরিয়ে সাদা পাত অদৃশ্য হলেই ভার্নিয়ারের পাঠ নিতে হয়। বায়ুর উষ্ণতা জানার জন্য পিতল নলের গায়ে একটি থার্মোমিটার T লাগানো থাকে।

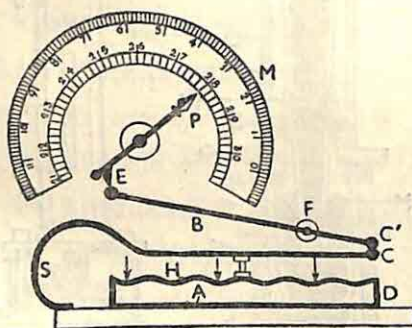
আধারটির গঠন বৈশিষ্ট্যপূর্ণ। উপরাংশ F কাচে তৈরি, মধ্যাংশ K কাঠে, আর নিচে থাকে একটি স্যাময় চামড়ার থলি L। কাচের ভিতর দিয়ে আধারের পারদতল M দেখা যায়। থলির নিচে থাকে এক টুকরো কাঠ N, R স্ক্রুকে ঘুরিয়ে কাঠের করোয় চাপ কমিয়ে-বাড়িয়ে চামড়ার তলির আয়তন

চিত্র 34

বাড়ানো-কমানো যায়। ফলে আধারের পারদতল ওঠানামা করে। চামড়া সচ্ছিদ্র বলে ঐ পথে বায়ু চলাচল করতে পারে। বাইরের বায়ু তাই M পারদের উপর চাপ প্রয়োগ করে। ব্যারোমিটারের নিচের অংশ ক্রমশ সরু হয়ে M পারদে প্রবেশ করে। এতে একসঙ্গে বেশি পারদ আধার থেকে নলে যেতে পারে না এবং নলে পারদের কম্পন কমে।

I-এর সূক্ষ্ম অগ্রভাগ পারদপাত্রের পারদতলে ঠিক স্পর্শ করিয়ে নলে পারদস্তম্ভের উত্তল পৃষ্ঠ অবধি যে দূরত্ব পাওয়া যায় সেই পারদস্তম্ভের চাপই বায়ুচাপ।

3. 20 অ্যানিরয়েড ব্যারোমিটার
(Aneroid barometer)

এটি একটি হালকা, ছোট, ধাতুনির্মিত, সহজে স্থানান্তরযোগ্য পারদ বা অন্য কোন তরল বিহীন ব্যারোমিটার; তবে ফর্টিনের মতো অত সূক্ষ্ম নয়।

এই ব্যারোমিটারের প্রধান অংশ একটি গোলাকার আংশিক বায়ুনিরুদ্ধ ধাতু-স্তম্ভক বা ধাতব বাক্স D। বাক্সের উপরের ঢাকনা স্থিতিস্থাপক ও ঢেউ খেলানো পাতলা ধাতুপাত H-এ তৈরি। পাতলা বলে ও ভিতরটি প্রায় বায়ুশূন্য হওয়ায় বাইরের বায়ুচাপ থেকে একে রক্ষা করার জন্য একটি ইস্পাতের শক্ত স্প্রিং S বাক্সটির নিচে ভূমির সঙ্গে লাগানো থাকে। স্প্রিং-এর অন্যপ্রান্তটি একটি লিভার-সমবায়ে (CC′B) যুক্ত থাকে। লিভারের আলম্ব হল F; বায়ুচাপের হ্রাসবৃদ্ধিতে বাক্সের উপরের পাত ওঠানামা করে এবং লিভার ব্যবস্থায় তা বহুগুণে বর্ধিত হয়। চাপ বাড়লে যখন পাত নিচে নামে, তখন লিভারের C প্রান্তও সেই সঙ্গে নামে ও E প্রান্ত ওঠে। চাপ কমলে C

চিত্র 35

উঠে আসে, E প্রান্ত নামে, C-প্রান্তে একটি সূচক P লাগানো থাকে এবং C-এর নড়াচড়ায় সূচকের সূক্ষ্ম অগ্রভাগ একটি বৃত্তাকার স্কেল M বরাবর ঘোরে। প্রমাণ পারদ ব্যারোমিটারের সঙ্গে তুলনা করে আগে থেকেই স্কেলটি অংশাঙ্কিত থাকে। ফলে সরাসরি বায়ুচাপ জানা যায়। স্কেলে বায়ুচাপের উপর ভিত্তি করে আবহাওয়া সম্পর্কে rain, storm, fair প্রভৃতি কথা লেখা থাকে।

একে উচ্চতা নির্দেশক যন্ত্ররূপেও ব্যবহার করা যায়।

3.21 আবহাওয়ার পূর্বাভাস

(Weather forecast)

ব্যারোমিটারের সাহায্যে আবহাওয়ার পূর্বাভাস সম্পর্কে মোটামুটি ধারণা করা যায়। যেমন,

(i) পারদস্তম্ভের উচ্চতা ধীরে ধীরে কমলে **পূর্বাভাস**: বৃষ্টির সম্ভাবনা। **ব্যাখ্যা**: জলীয় বাষ্প শুকনো বায়ুর তুলনায় হাল্কা। ফলে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের আধিক্য ঘটলে বায়ুচাপ কমবে, পারদস্তম্ভ ধীরে ধীরে নামবে।

(ii) পারদস্তম্ভের উচ্চতা হঠাৎ দ্রুত নেমে গেলে **পূর্বাভাস**: ঝড়ের সম্ভাবনা। **ব্যাখ্যা**: দ্রুত বায়ুচাপ কমলে উচ্চতা দ্রুত নামবে। ফলে আশে-পাশের উচ্চচাপ অঞ্চল থেকে বায়ু ঐ স্থানে দ্রুত প্রবাহিত হবে।

(iii) পারদস্তম্ভের উচ্চতা ধীরে ধীরে বাড়লে **পূর্বাভাস**: শুষ্ক ও পরিষ্কার আবহাওয়া। **ব্যাখ্যা**: ধীরে ধীরে বায়ুচাপ বাড়ার অর্থ জলীয় বাষ্পকে অপসারিত করে বায়ুমণ্ডলে শুকনো বায়ু বাড়ছে।

3.22 ব্যারোমিটারের সাহায্যে উচ্চতা নির্ণয়

(Determination of height by barometer)

ধর, A স্টেশনে ব্যারোমিটারের পাঠ $= h_1$ সেমি

B স্টেশনে ব্যারোমিটারের পাঠ $= h_2$ সেমি

$\therefore$ দুই স্টেশনের ব্যারোমিটারের পাঠের অন্তর $= (h_1 - h_2)$ সেমি.

ধর, A ও B স্টেশনের উচ্চতার পার্থক্য $= H$ সেমি.

$\therefore$ H সেমি. বায়ুস্তম্ভের চাপ $= (h_1 - h_2)$ সেমি পারদস্তম্ভের চাপ

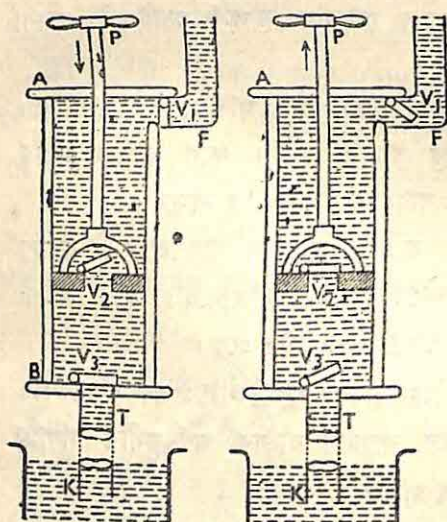
বা Hd গ্রাম-ভার $= (h_1 - h_2)\ \rho$ গ্রাম-ভার

d = বায়ুর গড় ঘনত্ব, ρ = পারদের ঘনত্ব

$$\therefore \; H = \frac{h_1 - h_2}{d} \rho \text{ সেমি}$$

3.23 উত্তোলক পাম্প (Lift pump)

খুব উঁচু জায়গায় জল তোলার কাজে এই পাম্প ব্যবহৃত হয়।

এর প্রধান প্রধান অংশগুলো হল (i) একটা লোহার শক্ত চোঙ AB (ii) চোঙের ভিতরে ওঠানামা করার জন্য একটি জলনিরুদ্ধ পিস্টন P (iii) চোঙের নিচের দিকে অপেক্ষাকৃত সরু আর একটি নল TK এবং (iv) চোঙের উপরের দিকে একটি লম্বা ঊর্ধ্বমুখী নল F। যেখানে জল তোলা হবে সেই অবধি F নলটি বিস্তৃত। এর মুখে একটি ভালব V_1 লাগানো থাকে। TK নলটি জলের উৎস অবধি বিস্তৃত। TK ও AB-র সংযোগস্থলেও একটি ভালব V_3 বসানো থাকে। পিস্টন P-র সঙ্গেও একটি ভালব V_2 যুক্ত থাকে। V_1, V_2 ও V_3 সব ভালবগুলি উপরের দিকে খোলে অর্থাৎ জলকে নিচে থেকে উপরে যেতে দেয়, কিন্তু জল নিচে আসার চেষ্টা করলে ভালবগুলো বন্ধ হয়ে যায়।

চিত্র 36

কার্যপ্রণালী : পিস্টনকে যখন চোঙের নিচে থেকে টেনে উপরে তোলা হয় তখন পিস্টনের তলার বায়ুর আয়তন বেড়ে যায়, চাপ কমে। কিন্তু পিস্টনের উপর বায়ুমণ্ডলীয় চাপ থাকে। ফলে V_2 ভালব বন্ধ থাকে। আবার চোঙের নিচে TK নলে বায়ুমণ্ডলের বেশি চাপ থাকায় V_3 ভালব উপর দিকে খোলে, কিছু বায়ু TK নল থেকে চোঙে ঢোকে। জলাধারের উপরে বায়ুমণ্ডলের বেশি চাপ থাকায় জলাধার থেকে কিছু জল নলে প্রবেশ ক'রে আংশিক শূন্যতা পূরণ করে। যতক্ষণ না পিস্টন চোঙের সর্বোচ্চ স্থানে পৌছয় ততক্ষণ T নল দিয়ে বায়ু ও জলের ঊর্ধ্বগতি হয়।

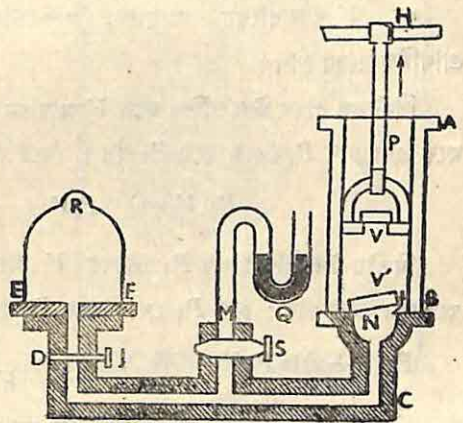
পিস্টনকে নিচের দিকে নামালে AB চোঙের বায়ু ক্রমশ চাপ খায়। তখন বেশি চাপে V_2 খুলে যায়, কিছু বায়ু খোলা মুখ দিয়ে বেরিয়ে যায়। খানিকটা জলও পিস্টনের উপরে আসে। যতক্ষণ পিস্টন নিচের দিকে নামে ততক্ষণ এরূপ চলে এবং V_3 বন্ধ থাকে। এভাবে কয়েকবার পিস্টন ওঠানামা করলেই জল F মুখ পর্যন্ত পৌছয়। পিস্টনের পরবর্তী উর্ধ্বগতিতে জলের চাপে V_1 খুলে যায়, জল F নলে ঢোকে এবং নল বেয়ে ক্রমে উপরে ওঠে। পিস্টনের নিম্নগতিতে জল নিচে আসার চেষ্টা করলেই V_1 বন্ধ হয়ে যায়।

F নল দিয়ে জল ওঠানোর ক্ষেত্রে **বায়ুমণ্ডলের কোন ক্রিয়া নেই।** ফলে F-কে ইচ্ছামতো লম্বা করে এবং V_1 ভালবকে উচ্চচাপ সহ করে জলকে যে কোন উচ্চতায় পাঠানো চলে। কিন্তু জলাধার থেকে T নলে জল প্রবেশ করানোর কাজ **বায়ুচাপের।** ফলে T নলের দৈর্ঘ্য 34 ফুটের বেশি হবে না।

3 24 বায়ু নিষ্কাশন পাম্প (Vacuum pumps)

বায়ু নিষ্কাশনের জন্য নানা ধরনের পাম্প প্রচলিত আছে। আমরা এখানে দুটি পাম্পের আলোচনা করছি।

(i) **পিস্টন পাম্প** (Piston pump) ও (ii) **রোটারি পাম্প** (rotary pump)।

পিস্টন পাম্প : পাশের চিত্রে একটি সরল পিস্টন পাম্প দেখানো হল। AB একটি ধাতব চোঙ। এর ভিতরে একটি বায়ুনিরুদ্ধ পিস্টন P ওঠানামা করে। পিস্টনের সঙ্গে একটি হালকা ভালব V যুক্ত থাকে। এই ভালবটি কেবল বাইরের দিকে খোলে। যে আধার (R) বায়ুশূন্য করতে হবে তার সঙ্গে C-নলের মাধ্যমে AB-কে যুক্ত করা হয়। AB-র নিম্নপ্রান্তে C নলের সংযোগস্থলে দ্বিতীয় একটি হালকা ভালব V' লাগানো। এটিও একমুখী ভালব—কেবল AB-র ভিতরের দিকে খোলে।

চিত্র 37

কার্যপ্রণালী : যখন পিস্টন উপরের দিকে ওঠে তখন P-র নিচের অংশের বায়ুর আয়তন বাড়ে, চাপ কমে। পিস্টনের উপরের অংশের চাপ বেশি থাকায় V′ ভালব বন্ধ থাকে; কিন্তু পিস্টনের নিচের অংশে চাপ কম থাকায় আধারের বায়ুচাপে V′ ভালব খুলে যায়। R থেকে কিছু বায়ু A-তে প্রবেশ করে। পিস্টন যখন নিচের দিকে নামে, তখন A-র বায়ু সংকুচিত হয়, চাপ বৃদ্ধি পাওয়ায় V′ ভালব বন্ধ হয়ে যায়। A-তে চাপ বায়ুমণ্ডলের চেয়ে বেশি হলেও V খুলে যায় এবং A-র বায়ু ঐ পথে বেরিয়ে যায়।

এভাবে পিস্টনের প্রতি উধ্ব´ ও নিম্নমুখী গতিতে R পাত্রের কিছু বায়ু A-তে প্রবেশ করে এবং V পথে বাইরে নিষ্ক্রান্ত হয়। ফলে R পাত্রটি ক্রমে বায়ুশূন্য হয়। R-র চাপ যখন এত কমে যায় যে V′ ভালব খোলা আর সম্ভব নয়, তখন পাম্প আর কাজ করে না।

নিষ্কাশনের মাত্রা (Degree of exhaustion) : পিস্টনের n সংখ্যক সম্পূর্ণ গতির (উধ্ব´গতি+নিম্নগতি) পর R পাত্রের গ্যাসের ঘনত্ব বা চাপ-ই নিষ্কাশনের মাত্রা নির্ণয় করে।

ধর, V= আধারের আয়তন, v= চোঙের আয়তন, $P_{\circ}$= আধারের প্রাথমিক বায়ুর চাপ।

পিস্টনের প্রথম উধ্ব´গতির ফলে V আয়তন বায়ু বেড়ে $V+v$ আয়তন লাভ করে এবং চাপ $P_{\circ}$ থেকে কমে P_1 হয়। বয়েলের সূত্র থেকে

$$P_1(V+v)=P_{\circ}V \qquad \therefore\ P_1=\frac{V}{V+v}.P_{\circ}$$

দ্বিতীয় উধ্ব´গতির পর P_1 চাপের V আয়তন বায়ু প্রসারিত হয়ে $V+v$ আয়তন লাভ করে; চাপ P_1 থেকে কমে P_2 হয় এবং

$$P_2(V+v)=P_1V \qquad \therefore\ P_2=\frac{V}{V+v}P_1=\left(\frac{V}{V+v}\right)^2P_0$$

এই যুক্তিতে n-সংখ্যক উধ্ব´গতির পরে আধারে বায়ুচাপ

$$P_n=\left(\frac{V}{V+v}\right)^nP_9$$

ধর, $\rho_{\circ}$ এবং ρ_n যথাক্রমে $P_{\circ}$ ও P_n চাপে আধারের বায়ুর ঘনত্ব।

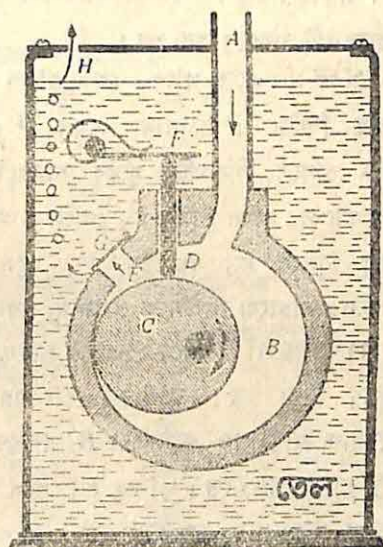
$$\therefore\ \frac{\rho_n}{\rho_{\circ}}=\frac{P_n}{P_{\circ}} \quad \text{(বয়েল সূত্র থেকে)}$$

$$=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n$$

রোটারি পাম্প (Rotary pump)ঃ বায়ু নিষ্কাশনের একটি আধুনিক পাম্প হল এই রোটারি পাম্প।

নিচের চিত্রে এটি দেখান হল। B একটি ফাঁপা ইস্পাতের চোঙ। B-র ভিতরে আর একটি চোঙ C ঘোরে। এই ঘূর্ণন অ-সমকেন্দ্রিক (eccentric); ঘূর্ণনকালে C, B-কে স্পর্শ করে। E ও D হল B-চোঙের দুটি রন্ধ্রপথ। এই পথে বায়ু B-তে প্রবেশ করে বা B থেকে বেরিয়ে যায়। যে আধারকে বায়ুশূন্য করতে হবে তাকে একটি মোটা ও শক্ত রবার টিউবের সাহায্যে A-তে পাম্পের সঙ্গে যুক্ত করা হয়। আধারের বায়ু D পথে B-তে প্রবেশ করে। নির্গমন পথ E একটি ভালব G দ্বারা বন্ধ থাকে। একটি স্প্রিং-এর সাহায্যে G-কে নিয়ন্ত্রণ করা হয়। B-তে চাপ একটি নির্দিষ্ট মানের চেয়ে বেশি হলেই G খুলে যায় এবং E-পথে বায়ু নিষ্ক্রান্ত হয়। F একটি ইস্পাতের তৈরী পাত (vane); এটি B-র আবরক ভেদ করে যায় এবং C চোঙের উপর স্প্রিং-এর সাহায্যে চেপে বসানো থাকে। লিভার ব্যবস্থায় স্প্রিং-কে নিয়ন্ত্রণ করা হয়। F ভেনটি E ও D এই দুই পথের সংযোগকে পুরোপুরি বিচ্ছিন্ন করে রাখে।

চিত্র 38

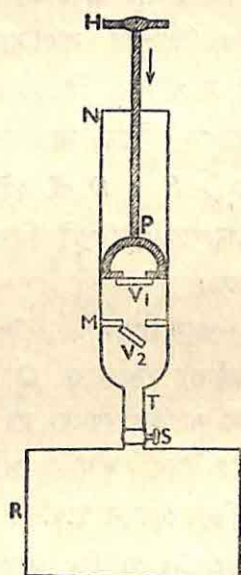
কার্যপ্রণালীঃ ইলেকট্রিক মোটরের সাহায্যে C চোঙকে দ্রুত আবর্তন করানো হয়। চিত্রে তীরচিহ্নের দ্বারা আবর্তনের অভিমুখ দেখানো হয়েছে। আলোচ্য মুহূর্তে যে বিন্দুতে C ও B পরস্পরকে স্পর্শ করে C-র আবর্তনে তার পিছনের অঞ্চলের আয়তন বেড়ে যায় এবং আধারের বায়ু D পথে এই অঞ্চলে প্রবেশ করে। এই সময়ে স্পর্শবিন্দুর সম্মুখস্থ অঞ্চলের বায়ু সংকুচিত হওয়ায় G ভালব খুলে যায় এবং ঐ অঞ্চলের বায়ু E পথে বেরিয়ে H ফুটো দিয়ে নিষ্ক্রান্ত হয়। যখন C ও B-র সংযোগ বিন্দু D বিন্দু ছাড়িয়ে

যায়, তখন C-র সম্মুখে একটি নতুন আয়তন বায়ু আটকে পড়ে এবং আগের মতো সংকুচিত হয়ে নিষ্ক্রান্ত হয়।

সমস্ত ব্যবস্থাটিকে তেলে ডুবিয়ে রাখা হয়। এতে বায়ু 'লিক' করে B-র ভিতরে প্রবেশ করতে পারে না। পাম্প যখন বন্ধ করে দেওয়া হয় তখন আধার থেকে একে বিচ্ছিন্ন করতে হবে, নচেৎ বায়ুচাপে তেল ধীরে ধীরে কেসিং ও ভেনের সূক্ষ্ম রন্ধ্রপথে B-তে প্রবেশ করবে। এমন কি, এই তেল আধারেও চলে যেতে পারে। কোন কোন পাম্পে D এবং A এর মাঝে তেল আটকানোর জন্য আধারের ব্যবস্থা থাকে।

3.25 সংনমন পাম্প (Compression pump)

এই পাম্পের সাহায্যে কোন বদ্ধ আধারে বায়ু সংকুচিত করে রেখে বায়ুর চাপ বাড়ানো যায়। ফুটবলের ব্লাডার, সাইকেল বা মোটর চাকার টিউব পাম্প করতে এটি ব্যবহার করা হয়।

গঠন: এতে থাকে একটা ধাতব চোঙ MN এবং তার মধ্যে একটি বায়ু-নিরুদ্ধ পিস্টন P ওঠানামা করে। V_1 ও V_2 দুটি ভালব। পিস্টনটি নিচের দিকে চাপলে পিস্টনটির মুখের ভালব V_1 বন্ধ হয় এবং পাম্পের মুখের ভালব V_2 খোলে ; আর উপরের দিকে টানলে V_2 বন্ধ হয়, V_1 খুলে যায়। H হাতলের সাহায্যে পিস্টনকে ওঠানামা করানো হয়।

কার্যপ্রণালী: প্রথমে হাতলের সাহায্যে পিস্টনকে উপরে টানা হয়। ফলে দুই ভালবের মাঝখানের জায়গার বায়ুচাপও কমে এবং R পাত্রের বায়ুচাপে V_2 ভালব বন্ধ হয়। কিন্তু V_1 খুলে গিয়ে তার ভিতর দিয়ে বায়ু এসে PN স্থান পূর্ণ করে। এরপর পিস্টন নিচের দিকে ঠেলা হয়। বায়ুর চাপে V_1 ভালবটি জোরে বন্ধ হয়, চোঙের বায়ু উপরের দিকে বেরিয়ে যেতে পারে না। কিন্তু V_2 ভালব নিচের দিকে খুলে যায়, চোঙের বায়ু R পাত্রে প্রবেশ করে। এভাবে প্রতিবার চাপ দেওয়ার সঙ্গে সঙ্গে কিছু কিছু করে বায়ু R-পাত্রে সংকুচিত হতে থাকে। কয়েকবার ওঠানামা করালেই পাত্রে বায়ুর চাপ বহুগুণ বেড়ে যায়।

চিত্র 39

চোঙের শেষপ্রান্তে একটা স্টপকক S থাকে। পাম্প করার সময় ওটি খুলে নিতে হয়। পরে পাম্প করা হয়ে গেলে ওকে বন্ধ করে পাত্রের মুখ বায়ুনিরুদ্ধ করা হয়।

আধারে বায়ুর চাপ ও ঘনত্ব : ধর, আধারের আয়তন $=V$, পিস্টনের দুই প্রান্তীয় অবস্থানের অন্তবর্তী এলাকার আয়তন $=v$, $\rho=$ আধারের বায়ুর প্রাথমিক ঘনত্ব, $P=$ আধারের বায়ুর প্রাথমিক চাপ।

পিস্টনের প্রতি পূর্ণগতিতে $v\rho$ ভরের বায়ু আধারে প্রবেশ করে। কাজেই n-সংখ্যক পূর্ণগতির ফলে আধারের বায়ুর মোট ভর $=V\rho+nv\rho$; এই বায়ুর ঘনত্ব ρ_n হলে

$$V\rho_n=V\rho+nv\rho$$

$$\text{বা } \rho_n=\rho\left(1+\frac{nv}{V}\right)$$

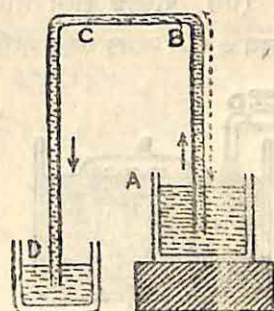
এই সংনমিত বায়ুর চাপ P_n হলে, বয়েল সূত্রানুসারে,

$$\frac{P_n}{P}=\frac{\rho_n}{\rho}=1+\frac{nv}{V}$$

$$\therefore P_n=P\left(1+\frac{nv}{V}\right)$$

3.26 সাইফন (Siphon)

এটি একটি সরল উদস্থৈতিক যন্ত্র। পাত্রকে না নাড়িয়ে এক পাত্র থেকে অন্য পাত্রে তরল স্থানান্তরণ, তলানিযুক্ত তরল থেকে পরিষ্কার তরলকে পৃথক করা ইত্যাদি কাজে এটি ব্যবহৃত হয়।

বিবরণ : এটি একটি দুই অসমান বাহুর U-নল $ABCD$। সাধারণত রবারের বা কাচে তৈরি। যে পাত্র (A) থেকে তরল স্থানান্তরিত হবে তার উচ্চতা অন্য পাত্র D-র চেয়ে বেশি হওয়া চাই। প্রথমে পরীক্ষাধীন তরলে U-নলটি ভর্তি করা হয়। তারপর নলের দুই মুখ আঙুলে বন্ধ করে ছোট বাহুর মুখ তরলপূর্ণ পাত্রে ডুবিয়ে দেওয়া হয়, আর বড় বাহুর মুখ নিচের খালি পাত্রে রেখে আঙ্গুল সরিয়ে নিলেই সাইফনের ক্রিয়া চালু হয়। অর্থাৎ নল বেয়ে তরল ক্রমাগত উঁচু পাত্র থেকে নিচু পাত্রে আসতে থাকে।

চিত্র 40

কার্যপ্রণালী : নলের মধ্যে একই অনুভূমিক তলে B ও C দুটি বিন্দু।

B বিন্দুতে তরলের চাপ P_b = বায়ুমণ্ডলীয় চাপ − BA তরলস্তম্ভের চাপ

$$= P - h_1 \rho g \qquad (h_1 = BA)$$

C বিন্দুতে তরলের চাপ P_c = বায়ুমণ্ডলীয় চাপ − CD তরলস্তম্ভের চাপ

$$= P - h_2 \rho g \qquad (h_2 = CD)$$

এখানে P = বায়ুমণ্ডলের চাপ, ρ = তরলের ঘনাঙ্ক, g = অভিকর্ষজ ত্বরণ।

যেহেতু $h_1 > h_2$, অতএব $P_b > P_c$; অর্থাৎ B বিন্দুতে চাপ C বিন্দুর চেয়ে বেশি। কাজেই তরল B থেকে C-র দিকে প্রবাহিত হবে। B থেকে তরল সরে গেলেই বাইরের বায়ুচাপে পাত্রের তরল নল বেয়ে উঠে শূন্যস্থান পুরণ করবে। ফলে B থেকে C-অভিমুখে তরলের প্রবাহ চালু থাকবে।

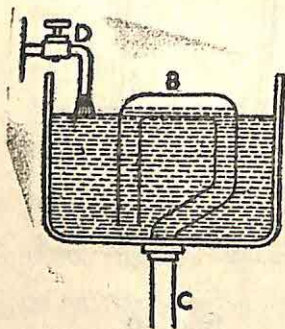
সাইফন ক্রিয়ার শর্ত : স্পষ্টত সাইফনের ক্রিয়ার জন্য নিম্নের শর্তগুলো পূরণ হওয়া চাই।

(i) h_1 সর্বদাই h_2 থেকে কম হবে। $h_1 > h_2$ হলে B বিন্দুর চাপ C-র চেয়ে কম হবে এবং প্রবাহ চলতে পারবে না। $h_1 = h_2$ হলে B ও C বিন্দুতে চাপ সমান হবে, প্রবাহ বন্ধ হবে।

(ii) বায়ুচাপ তরলকে যে উচ্চতায় উঠাতে পারে h_1 তার চেয়ে কম হওয়া চাই। কেননা বায়ুচাপেই তরল নলমধ্যে C বিন্দুতে উঠছে।

(iii) বায়ুশূন্য স্থানে সাইফন ক্রিয়া চলে না। কারণ সেক্ষেত্রে AB নলের তরল ও CD নলের তরল সংশ্লিষ্ট পাত্র দুটিতে পড়ে যাবে।

চিত্র 41

3. 27 সাইফনের প্রয়োগ (Applications of siphon)

1. স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশ—শহর এলাকার শৌচাগারে সাইফন ক্রিয়ায় স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশে জল ঢালার ব্যবস্থা থাকে। সাইফন BC একটি জলাধারের ভিতর দিয়ে নিচে নেমে আসে। একটি জলের কল D থেকে জলাধারে ধীরে ধীরে জল পড়ে। জলতল একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় এলেই সাইফন ক্রিয়া শুরু হয়ে যায়। উপরে ব্যবস্থাটি চিত্রায়িত করে দেখানো হল।

ট্যানটালাস কাপ—সাইফন ব্যবস্থার উপর ভিত্তি করে এই খেলনা বাটি A তৈরি হয়। বাটির কেন্দ্রে একটি পুতুল B বসান থাকে, পুতুলের পেটে লুকানো থাকে একটি সাইফন S। সাইফনের সর্বোচ্চ বিন্দু পুতুলটির ঠিক ঠোঁটের নিচে অবস্থিত। ফলে পাত্রে জল ঢাললে জল সাইফন ক্রিয়ায় ঠোঁট স্পর্শ না করেই পাত্রের নিচে পড়ে যায়। অভিশপ্ত গ্রীক রাজ ট্যানটালাসের (পুতুলটির) আর জল খাওয়া হয় না।

চিত্র 42

3.28 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. একটি কুয়োর তলদেশের চাপ, 2 ফুট গভীরের চাপের দ্বিগুণ। বায়ুমণ্ডলীয় চাপ 30 ফুট জলস্তম্ভের সমান হলে কুয়োতে জলের গভীরতা কত? **(উৎকল 1957)**

ধর, জলের নির্ণেয় গভীরতা $=h$ ফুট

$\therefore$ কুয়োর তলদেশের চাপ $=(h+30)\rho g$, $\rho=$ জলের ঘনাঙ্ক

2 ফুট গভীরে চাপ $=(2+30)\rho g$

প্রশ্নানুসারে, $(h+30)\rho g=2(2+30)\rho g$

বা, $h+30=2(2+30)$ $\quad\therefore\ h=34$ ফুট

উদা. 2. δ ঘনাঙ্কের একটি বস্তুকে সন্তর্পণে δ' ঘনাঙ্কের একটি তরলের উপরে ছেড়ে দেওয়া হল ($\delta'<\delta$)। দেখাও যে, বস্তুটি $\sqrt{2d\delta/g\,(\delta-\delta')}$ সময় পরে তরলের তলদেশে পৌঁছবে। $d=$ তরলের গভীরতা, $g=$ অভিকর্ষজ ত্বরণ। **(পাটনা)**

ধর, $m=$ বস্তুর ভর ; $\therefore$ বস্তুর আয়তন $=m\delta$

অপসারিত তরলের দরুণ উর্ধ্বঘাত $=\dfrac{m}{\delta}\delta' g$

$\therefore$ তরলে বস্তুর উপর নীট নিম্নমুখী বল $=mg-\dfrac{m}{\delta}\delta' g$

$\therefore$ বস্তুর উপরে তরলের নিম্নমুখী ত্বরণ $f=g-\dfrac{\delta'}{\delta}g=g\left(1-\dfrac{\delta'}{\delta}\right)$

যেহেতু বস্তুটি স্থিরাবস্থায় তরলের উপরিতল থেকে পড়তে শুরু করে, অতএব নির্ণেয় সময় t হলে,

$$d=\frac{1}{2}ft^2$$

$$\therefore \quad t=\sqrt{\frac{2d}{f}}=\sqrt{\frac{2d\delta}{g(\delta-\delta')}}$$

উদা. 3. যথাক্রমে 8 ও 12 আপেক্ষিক গুরুত্বের দুই ধাতুতে প্রস্তুত 52 গ্রামের একটি সংকর ধাতুখণ্ডের জলে ওজন 46 গ্রাম। ঐ সংকর ধাতুতে ধাতুদ্বয়ের পরিমাণ কত? (উৎকল 1951)

ধর, প্রথম ধাতুর ভর $=x$ গ্রাম; $\therefore$ দ্বিতীয় ধাতুর ভর $(52-x)$ গ্রাম।

প্রথম ধাতুর আয়তন $= x/8$ সি. সি; দ্বিতীয় ধাতুর আয়তন $=(52-x)/12$ সি সি.

প্রশ্নানুসারে, অপসারিত জলের ওজন $= 52-46 = 6$ গ্রাম।

$$\therefore \quad \frac{x}{8}+\frac{52-x}{12}=6$$

সমাধানান্তে, $x = 40$ $\therefore$ ধাতুদ্বয়ের ভর যথাক্রমে **40** ও **12** গ্রাম।

উদা. 4. দুটি বস্তুকে তুলাদণ্ডের দুই প্রান্ত থেকে ঝুলিয়ে নিমজ্জিত করলে তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক হয়। একটি বস্তুর ওজন 28 গ্রাম ও ঘনত্ব 5·6 অপরটির ওজন 36 গ্রাম, ঘনত্ব কত? (পাটনা)

ধর, নির্ণেয় ঘনত্ব ρ; প্রশ্নানুসারে, দুই বস্তুর জলে নিমজ্জিত অবস্থায় আপাত ওজন সমান।

প্রথম বস্তুর আয়তন $= 25/5{\cdot}6 = 5$ সিসি

দ্বিতীয় বস্তুর আয়তন $=36/\rho$ সিসি

$\therefore$ প্রথম বস্তুর আপাত ওজন $=$ প্রকৃত ওজন $-$ সম-আয়তন জলের ওজন

$=28-5=23$ গ্রাম।

দ্বিতীয় বস্তুর আপাত ওজন $=(36-36/\rho)$ গ্রাম।

$\therefore \quad 36-\frac{36}{\rho}=23$; সমাধানান্তে $\rho=$ **2·77 গ্রাম / সিসি**

উদা. 5. কোন বস্তুর বায়ুতে ওজন 7·55 গ্রাম। জলে ওজন 5·15 গ্রাম এবং কোন তরলে ওজন 6·35 গ্রাম। তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

(উ. মা. কম্পার্ট, 1969)

বস্তু কর্তৃক অপসারিত জলের ওজন $=7{\cdot}55-5./5=2{\cdot}4$ গ্রাম

বস্তুকর্তৃক অপসারিত তরলের ওজন $=7{\cdot}55-6.35=1.2$ গ্রাম

তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{\text{তরলের ওজন}}{\text{সম-আয়তন জলের ওজন}} = \frac{1·2}{2·4} = \mathbf{0·5}$

উদা. 6. জলপূর্ণ একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের ওজন 45 গ্রাম। ঐ বোতলকে যথাক্রমে পারদ ও তুঁতের জলে সম্পূর্ণ ভর্তি করলে ওজন হয় 297 গ্রাম এবং 49 গ্রাম। পারদের ঘনত্ব 13·6 গ্রাম/সিসি ; তুঁতের জলের ঘনত্ব কত ? **(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1965)**

ধর, খালি বোতলের ওজন W গ্রাম, তুঁতের জলের ঘনাঙ্ক $=\rho$, বোতলের ভিতরের আয়তন $= V$ সি.সি।

$\therefore \quad W+V\times 1=45 \qquad \cdots\cdots(i)$

আবার, $W+V\times 13·6=297 \qquad \cdots\cdots(ii)$

এবং $W+V\times \rho=49 \qquad \cdots\cdots(iii)$

(ii) – (i) করে $V=(297-45)/(13·6-1)=\frac{252}{12·6}=20$ সি. সি.

(iii) – (i) করে $\rho-1=\frac{4}{V}=\frac{4}{20}=0·2$

$\therefore \quad \rho=1+0·2=$ **1·2 গ্রাম/সি.সি.**

উদা. 7. একটি বোতল তেলে ভর্তি করে কর্ক আটকানো হল। বোতলের গলা এবং তলার ব্যাস যথাক্রমে $\frac{1}{2}$ ইঞ্চি এবং 3 ইঞ্চি। কর্কের উপর 5 পাউণ্ড-ভার বল প্রয়োগ করা হল। তলায় কত ঘাত সৃষ্টি হবে ? **(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1961)**

গলার প্রস্থচ্ছেদ $=\pi(\frac{1}{2}/2)^2$ বর্গ ইঞ্চি

তলার প্রস্থচ্ছেদ $=\pi(3/2)^2$ বর্গ ইঞ্চি

গলার উপর প্রযুক্ত চাপ $=5/\pi(\frac{1}{2}/2)^2$ পাউণ্ড-ভার/বর্গ ইঞ্চি

তলায় উৎপন্ন ঘাত P পাউণ্ড-ভার হলে, চাপ $=P/\pi(3/2)^2$ পাঃ ভার ইঞ্চি^{2}

পাস্কাল সূত্রানুসারে, $\frac{P}{\pi(3/2)^2}=\frac{5}{\pi(\frac{1}{2}/2)^2}$

$\therefore \quad P=\frac{5\times 9}{4\times \frac{1}{16}}=5\times 9\times 4=$ **180 পাউণ্ড-ভার**

উদা. 8. একটি হাইড্রলিক প্রেসের পিস্টন দুটির ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 1 ইঞ্চি, 6 ইঞ্চি। ঐ প্রেসে কি পরিমাণ ঘাতবৃদ্ধি ঘটবে ? **(দিল্লী. 1949)**

ছোট পিস্টনের ব্যাসার্ধ = 0·5 ইঞ্চি ;

বড় পিস্টনের ব্যাসার্ধ = 3 ইঞ্চি

ছোট ও বড় পিস্টনে ক্রিয়াশীল বলের পরিমাণ যথাক্রমে F_1, F_2 হলে, পাস্কালের সূত্রানুসারে,

$$\frac{F_1}{\pi \times 0.5^2} = \frac{F_2}{\pi \times 3^2}$$

$$\therefore \text{ ঘাতবৃদ্ধি} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{\pi \times 3^2}{\pi 0 \times \cdot 5^2} = \frac{9}{0\cdot 25} = \mathbf{36}$$

উদা. 9. একটি হাইড্রলিক প্রেসের পিস্টনের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 2 ইঞ্চি এবং 20 ইঞ্চি। ছোট পিস্টনে ক্রিয়াশীল লিভারের ছোট বাহুর দৈর্ঘ্য 4 ইঞ্চি এবং বড় বাহুর দৈর্ঘ্য 2 ফুট। লিভারের প্রচেষ্টা বিন্দুতে 60 পাউণ্ড-ভার বল প্রয়োগ করা হলে বড় পিস্টনে মোট ঘাতের পরিমাণ কত হবে ?

ধর, ছোট পিস্টনে কার্যকরী বল = F_1 পাউণ্ড-ভার

$\therefore$ লিভারের নীতি অনুযায়ী $F_1 = 60 \times 2 \times 12/4$ পাউণ্ড ভার

ছোট পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ = $\pi . 2^2 = 4\pi$ বর্গ ইঞ্চি

বড় পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ = $\pi .\ 20^2 = 400\pi$ বর্গ ইঞ্চি

পাস্কাল সূত্রানুসারে, বড় পিস্টনে মোট ঘাত F_2 পাউণ্ড-ভার হলে

$$\frac{F_2}{400\pi} = \frac{F_1}{4\pi} \quad \therefore F_2 = F_1 \times 100 = \frac{60 \times 2 \times 12 \times 100}{4}$$

$$= \mathbf{360{,}00} \text{ **পাঃ ভাঃ**}$$

উদা. 10. কেরোসিন তেলকে (আপেক্ষিক গুরুত্ব 0·8) সাইফন ক্রিয়ায় একটি প্রতিবন্ধক অতিক্রম করে আনতে হবে। সাইফন ক্রিয়া ঠিক চালু রাখা সম্ভব করতে প্রতিবন্ধকের উচ্চতা সর্বোচ্চ কত করা যেতে পারে ? বায়ুমণ্ডলের চাপ = 30 ইঞ্চি পারদস্তম্ভ। **(উঃ মাঃ কম্প্রাট', 1960)**

স্পষ্টত, প্রতিবন্ধকের সম্ভাব্য সর্বোচ্চ উচ্চতা হল বায়ুচাপ তরলকে যতটা উর্ধ্বে তুলতে পারবে।

ধর, নির্ণেয় সর্বাধিক উচ্চতা = h ইঞ্চি

$\therefore$ h ইঞ্চি তরলস্তম্ভের চাপ = বায়ুচাপ

কিন্তু, বায়ুচাপ = $33 \times \dfrac{13\cdot 6 \times 62\cdot 5}{(12)^3}\, g$ পাউণ্ডাল/ইঞ্চি^{2}

এবং তরলচাপ = $h \times \dfrac{0\cdot 8 \times 62\cdot 5}{(12)^3}\, g$ পাউণ্ডাল/ইঞ্চি^{2}

$$\therefore \quad h \times \frac{0.8 \times 62.5}{12^3} g = 30 \times \frac{13.6 \times 62.5}{12^3} g$$

$$\therefore \quad h = \frac{30 \times 13.6}{0.8} = 510 \text{ ইঞ্চি} = \mathbf{42.5 \text{ ফুট}}$$

উদা. 11 একটি সংনমন পাম্পের চোঙ এবং আধারের আয়তন যথাক্রমে 75 সি.সি ও 1000 সি.সি। আধারের বায়ুচাপকে বায়ুমণ্ডলীয় চাপের 4 গুণ করতে মোট কয়বার পাম্প করতে হবে? (গৌহাটি, 1952)

ধর, প্রয়োজনীয় সংখ্যা $= n$ বার

$$\therefore \quad 4 = \left(1 + \frac{75n}{1000}\right) \quad \therefore \quad n = 40$$

উদা. 12 একটি বায়ুনিষ্কাশক পাম্পের চোঙের আয়তন যে আধার বায়ুশূন্য করতে হবে তার আয়তনের অর্ধেক। 4 বার পাম্প করার পর আধারের চাপ কত হবে? আধারের প্রাথমিক চাপ $= 76$ সেমি. পারদস্তম্ভের চাপ। (মহীশূর, 1952)

সূত্রানুসারে, নির্ণেয় চাপ

$$P_4 = \left(\frac{V}{V+V}\right)^4 P_\circ = \left(\frac{V}{V+\frac{1}{2}V}\right)^4 \times 76 = \left(\frac{2}{3}\right)^4 \times 7\text{,}$$

$$= \mathbf{15} \text{ সেমি পারদস্তম্ভ}$$

অনুশীলনী

1. ঘনাঙ্ক ও আপেক্ষিক গুরুত্ব বলতে কি বোঝ ব্যাখ্যা কর।

2. দেখাও যে, সি. জি. এস. পদ্ধতিতে উভয়ের মান সমান।

3. ঘনাঙ্ক ও আপেক্ষিক গুরুত্বে পার্থক্য কি? জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত? সীসার আপেক্ষিক গুরুত্ব $= 11.4$ এ কথার অর্থ কি?

4. আর্কিমিডিসের সূত্রটি বল? কি করে পরীক্ষামূলকভাবে এর সত্যতা যাচাই করবে? এর একটি গাণিতিক প্রমাণ দাও।

5. প্লবতা কাকে বলে? এর সঙ্গে তরল বস্তর আপাত ওজন হ্রাসের কি সম্পর্ক? কোন বস্ত তরলে ভাসবে কি ডুববে তা কিভাবে স্থির হবে? প্লবতা বিন্দু কি?

6. সাম্যাবস্থায় ভাসনের শর্তগুলো লেখ এবং ব্যাখ্যা কর।

7. মেটাসেণ্টার বলতে কি বোঝ? ভাসমান বস্তুর সাম্যের সুস্থিরতা সম্পর্কে এর ভূমিকা কি?

8. গ্যাসের ক্ষেত্রে আর্কিমিডিস সূত্র প্রমাণ কর। এক পাউণ্ড তুলো ও এক পাউণ্ড লোহার মধ্যে কে বেশি ভারি? কেন?

9. তরলের মধ্যে কোন বিন্দুতে চাপ বলতে কি বুঝায়? ρ ঘনাঙ্কের কোন তরলের h গভীরতায় চাপের পরিমাণ নির্ণয় কর।

10. তরলের চাপ ও ঘাতের মধ্যে প্রভেদ কি? ওদের মধ্যে কি সম্পর্ক?

11. পাস্কালের সূত্র লেখ ও সূত্রটি ব্যাখ্যা কর। কি করে ঘাতবৃদ্ধি করার জন্য সূত্রটি ব্যবহার করা যায়? শক্তির নিত্যতা সূত্র থেকে পাস্কালের সূত্রটি প্রতিষ্ঠিত কর।

12. হাইড্রলিক প্রেস যন্ত্রের সচিত্র বিবরণ দাও এবং ওর কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। এই যন্ত্রের যান্ত্রিক সুবিধার সমীকরণটি প্রতিষ্ঠিত কর।

13. বায়ুর যে চাপ আছে কি করে তা প্রমাণ করবে? এ সম্পর্কে কয়েকটি পরীক্ষার উল্লেখ কর।

14. ব্যারোমিটার কাকে বলে? এর সাহায্যে কি করে আবহাওয়ার পূর্বাভাস এবং কোন স্থানের উচ্চতা নির্ণয় করা যায়?

15. একটি ফর্টিন ব্যারোমিটার যন্ত্রের সচিত্র বিবরণ দাও এবং কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

16. সাইফন বলতে কি বোঝ? এর বিবরণ দাও ও কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। সাইফনের ক্রিয়ার শর্তগুলো কি কি?

17. নিম্নলিখিত পাম্পগুলির সচিত্র বিবরণ দাও ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। (i) উত্তোলক পাম্প (i) সংনমন পাম্প (ii) বায়ু নিষ্কাশক পাম্প। সংনমন ও বায়ু নিষ্কাশক পাম্পে কি করে সংনমনের ও নিষ্কাশনের মাত্রা নিরূপিত হয়?

18. l দৈর্ঘ্যের ও b প্রস্থের একটি আয়তাকার ক্ষেত্রকে এরূপে উল্লম্বভাবে জলে ডোবানো হল যে, b বাহু জলের উপরিতলে থাকে। ঐ আয়তক্ষেত্রের উপর ঘাত এবং চাপের কেন্দ্রবিন্দু নির্ণয় কর। **[মাদ্রাজ 1950]**

19. সমুদ্র জলের ঘনাঙ্ক 1·025; 10 ফুট গভীরে চাপ কত? 1 ঘন ফুট জলের ওজন 62·5 পাউণ্ড। (**কঃ বিঃ**) [640.625 পাউণ্ড/বর্গ ফুট]

20. একটি হাইড্রলিক প্রেসের ছোট পিস্টনে 50 কিলোগ্রাম বল প্রয়োগ

করা হল। যদি পিস্টনদ্বয়ের ব্যাস যথাক্রমে 2 এবং 10 সেমি হয় তবে বড় পিস্টনে কত বল প্রযুক্ত হবে? (পাটনা) [1250 কিলোগ্রাম ভার]

21. রূপার খাদ মেশানো একটি সোনার মুকুটের ওজন 200 গ্রাম। জলে ডোবালে ওজন হয় 185 গ্রাম। ঐ মুকুটে কত গ্রাম সোনা ও কত গ্রাম রূপা আছে? সোনার ঘনত্ব = 19·3 গ্রাম / সিসি এবং রূপার ঘনত্ব = 10·3 গ্রাম / সিসি. (**বিশ্বভারতী 1964**) [97·57 ; 102·43]

22. 272 গ্রাম ওজনের একখণ্ড লোহা পারদে আয়তনের 5/8 অংশ ডুবিয়ে ভাসতে থাকে। ঐ লৌহখণ্ডের আয়তন ও ঘনত্ব কত? পারদের ঘনত্ব = 13·6 (**ঢাকা 1937**) [32 সিসি ; 8·5]

23. 100 সিসি আয়তনের এবং 0·85 ঘনত্বের একটি বস্তু জলে ভাসে। জলের উপর 0·8 গ্রাম / সিসি ঘনত্বের তেল ঢেলে বস্তুটিকে সম্পূর্ণ ঢেকে দেওয়া হল। বস্তুটির কত আয়তন এখন জলে থাকবে? [25 সিসি]

24. হাইড্রলিক প্রেসের চোঙদ্বয়ের ব্যাস যথাক্রমে 1·5 সেমি এবং 15 সেমি। 1 মিটার দীর্ঘ একটি হাতলের একপ্রান্ত কীলকাবদ্ধ এবং ঐ কীলক থেকে 10 সেমি দূরে পিস্টন আবদ্ধ। প্রেসের সাহায্যে 100 কিলোগ্রাম-ভার বল প্রয়োগ করতে হাতলের প্রান্তে কত বল দরকার হবে?

(**ইঞ্জি. অ্যাড টেস্ট 1967**) [0·1 কিলোগ্রাম ভার]

25. 1000 লিটার আয়তনের এবং 950 কিলোগ্রাম ওজনের একটি বয়াকে সমুদ্রতলে আটকানো একটি শিকলের সাহায্যে সম্পূর্ণ ডুবিয়ে রাখা হয়েছে। শিকলের ওজন উপেক্ষা করে ওর উপর টান নির্ণয় কর। সমুদ্রজলের ঘনত্ব = 1·02

(**উঃ মাঃ কম্পার্ট 1963**) [70 কিলোগ্রাম ভার]

26. ফাঁপা এক টুকরো তামার বায়ুতে ওজন 2·64 গ্রাম এবং জলে ওজন 221 গ্রাম। ফাঁপা অংশের আয়তন কত? তামার ঘনত্ব = 8·8 গ্রাম/সিসি.

(**আই. আই. টি. 1963**) [13 সিসি]

27. 14 সেমি ব্যাসের একটি চোঙাকৃতি পাত্রের তলদেশ থেকে 985·6 গ্রাম ওজনের একটি তামার খণ্ড ঝুলিয়ে জলে ভাসালে পাত্র ওর উচ্চতার 5 সেমি নিমজ্জিত অবস্থায় ভাসে। খণ্ডটিকে পাত্রের মধ্যে রেখে পাত্রটিকে জলে ভাসালে ওর উচ্চতার কতটা জলে ডুবে থাকবে? তামার ঘনত্ব = 9 গ্রাম / সিসি

(**আই. আই. টি**) [6·42 সেমি]

28. দুটি তরলের ঘনত্ব যথাক্রমে ρ_1 ও ρ_2। ওদের যথাক্রমে m_1 ও m_2 ভর-পরিমাণ মিশালে এবং মিশ্রণের আয়তনের পরিবর্তন না হলে মিশ্রণের ঘনত্ব কত হবে? $\left[\dfrac{\rho_1\rho_2\,(m_1+m_2)}{\rho_1 m_2+\rho_2 m_1}\right]$

29. 1 সিসি সীসার সঙ্গে 21 সিসি কাঠ জুড়ে দেওয়া হল। সীসার ও কাঠের আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে 11·4 এবং 0·5 ; ওরা জলে ভাসবে কি ডুববে স্থির কর। (পঃ বঃ উঃ মাঃ **1963**) [ভাসবে]

30. 25 সেমি পরিসীমা একটি ফাঁপা ঘনক অর্ধনিমজ্জিত অবস্থায় জলে ভাসে। 11·5 আপক্ষিক গুরুত্বের কতখানি সীসা ঐ ঘনকের নীচু তলে যুক্ত করলে ঘনকটি আরো 1·6 সেমি ডুববে? (**ইঞ্জি অ্যাড টেস্ট 1967**) [1210·5 গ্রাম]

31. তিনটি তরলের ঘনত্বের অনুপাত 1 : 2 : 3 ; (a) সম-আয়তন এবং (b) সম-ওজন নিয়ে তরল তিনটির মিশ্রণ তৈরি করলে দুই মিশ্রণের ঘনত্বের অনুপাত কত হবে? [11 : 9]

32. একটি উদস্থৈতিক তুলাযন্ত্রে দেখা গেল যে, সমব্যাসের একটি লোহার ও একটি কাচের চোঙ জলে সম্পূর্ণ ডোবা অবস্থায় সমান ভারি। চোঙ দুটির দৈর্ঘ্যের তুলনা কর। লোহা ও কাচের ঘনাঙ্ক যথাক্রমে 7·22 ও 2·55 গ্রাম/সি সি (**পঃ বঃ উঃ মাঃ 1968**) [1:4]

33. একটি কঠিন বস্তুর আয়তন V তিনটি ভিন্ন তরলে বস্তুটি $V/2$, $V/3$ এবং $V/4$ আয়তন তরল অপসারিত করে ভাসে। তরল তিনটির সম-আয়তন নিয়ে তৈরি মিশ্রণে বস্তুটি কত আয়তন অপসারিত করে ভাসবে? [$V/3$]

34. জল ব্যারোমিটারের উচ্চতা 32 ফুট। গ্লিসারিন ব্যারোমিটারের উচ্চতা কত? গ্লিসারিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব = 1·25 [25·6 ফুট]

35. একটি জলাশয়ের 238 ফুট গভীর 1 মিমি ব্যাসের একটি বায়ু বুদবুদ তৈরি হল। জলাশয়ের উপরিতলে এলে বুদবুদের ব্যাস কত হবে? উষ্ণতা সর্বত্র সমান। জল ব্যারোমিটারের উচ্চতা = 34 ফুট (**পঃবঃউঃমাঃ 1965**) [2 মিমি]

36. একটি বায়ুনিষ্কাশক পাম্পের রিসিভারের আয়তন চোঙের আয়তনের 6 গুণ। পিস্টন কয়বার সম্পূর্ণ গতিলাভ করলে রিসিভারের বায়ুর ঘনত্ব প্রাথমিক ঘনত্বের 216/343 হবে? [3 বার]

37. একটি বায়ু সংনমন পাম্পের রিসিভারের আয়তন চোঙের আয়তনের 20 গুণ। পিস্টনের কয়বার সম্পূর্ণ গতির ফলে রিসিভারের বায়ুচাপ এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপ থেকে তিন বায়ুমণ্ডলীয় চাপ হবে? [40 বার]

4

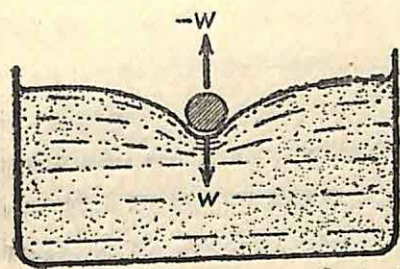
চতুর্থ অধ্যায়

পৃষ্ঠটান ও সান্দ্রতা (Surface tension & viscosity)

4. 1 পৃষ্ঠটান (Surface tension)

বিভিন্ন ঘটনা থেকে দেখা যায় যে, তরলের মুক্তপৃষ্ঠ টান করা (under tension) পর্দার ন্যায় আচরণ করে এবং সর্বদা ক্ষেত্রফলকে সংকুচিত করার চেষ্টা করে। এ সম্পর্কে নিম্নে কয়েকটি ঘটনার উল্লেখ করা হল :

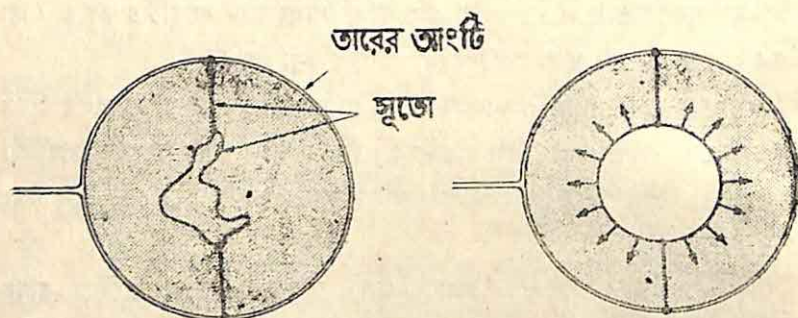
(a) জল-মাকড়সা বা ঐ জাতীয় জলের পোকামাকড় অনায়াসে জলের পিঠে ঘুরে বেড়ায়। অথচ জলে ভিজে যায় না। জলে যেখানে ওদের পা পড়ে সেখানটা জলের পৃষ্ঠতল একটু নেমে যায় (depression) অর্থাৎ জলের পিঠ যেন টান করা পর্দার মতো।

(b) এক বীকার জলে খুব সাবধানে একটা সুঁচ বা ব্লেডকে ভাসিয়ে রাখা চলে (চিত্র 43)। এ ভাসন আর্কিমিডিসের সূত্রের বিরুদ্ধে। যেখানে সুঁচটি জলস্পর্শ করে সেখানে জলের পৃষ্ঠতল অবনমিত হচ্ছে দেখা যায়।

চিত্র 43

(c) বৃষ্টির জলের ফোঁটা গোলকাকার (spherical)। শুধু জলই নয়, খুব অল্প পরিমাণ পারদের আকারও গোলক। নির্দিষ্ট আয়তনের মধ্যে গোলকের ক্ষেত্রফলই সবচেয়ে কম। কাজেই বলা যায়, তরলপৃষ্ঠ এমন জ্যামিতিক আকার নেয় যার ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন (minimum)।

এ সম্পর্কে নিচে একটি পরীক্ষার উল্লেখ করা হল। তাতে বিষয়টি আরও বিশদ ও স্পষ্ট হবে।

পরীক্ষা : তারের সাহায্যে হাতলওয়ালা একটা আংটা বানাও। একটা ডিসে কিছু সাবান-গোলা জল নাও। আংটাটিকে ঐ জলে ডুবিয়ে সাবধানে ওঠালে দেখবে আংটায় একটা পাতলা সর (film)—সাবানের সর—তৈরি হল। পরীক্ষাগুলো সাবান সর নিয়েই করা হবে।

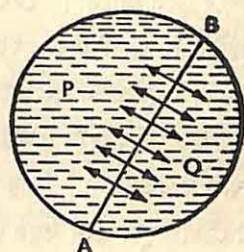
পরীক্ষা 1 : আংটার বেড়ে আলগাভাবে এক গাছ সুতো লাগাও। এবারে সুতো শুদ্ধ আংটিটি ডিমের সাবান জলে ডুবিয়ে সরের সৃষ্টি কর। দেখ, সুতো সরের ওপর আলগা পড়ে আছে। সুতো ও আংটার এক পাশের সরকে পিন দিয়ে ফুটো কর। দেখ ও-পাশের সর অন্তর্হিত হল, সঙ্গে সঙ্গে সুতো বেঁকে আঁটসাঁট হয়ে গেল। বোঝা গল সরটি ক্ষেত্রফল সংকোচনের চেষ্টা করছে এবং ওর পৃষ্ঠতল বরাবর একটি টান ক্রিয়াশীল রয়েছে।

চিত্র 44

পরীক্ষা 2 : এবারে সুতোর একটা ফাঁস তৈরি করে আংটার বেড়ে আলগা করে লাগিয়ে রাখ (চিত্র 44)। আগের মতো আংটার সাবানের সর তৈরি কর। দেখ, সুতোর ফাঁস ঐ সরে আলগাভাবে পড়ে রয়েছে। পিনের সাহায্যে ফাঁসের ভিতরে সরু ফুটো কর। দেখ, ভিতরের সর অদৃশ্য হল এবং সঙ্গে সঙ্গে সুতোর ফাঁসটি একটা বৃত্তের রূপ নিল। কেন এমন হল? কারণ ঐ একই। প্রথমে ফাঁসের প্রত্যেক বিন্দুতে ভিতরে-বাইরে সরের পৃষ্ঠতলে সমান বল (অন্তর্মুখী এবং বহির্মুখী) থাকায় ফাঁস এলোমেলো পড়েছিল। ভিতরের সর অন্তর্হিত হওয়ায় বর্হিমুখী টানে ফাঁসটি গোল হয়ে গেল। এখানেও সেই ক্ষেত্রফল হ্রাস করার চেষ্টা।

উপরের ঘটনাবলী এবং পরীক্ষাগুলো থেকে স্পষ্টই সিদ্ধান্ত করা যায় যে, **তরলের মুক্তপৃষ্ঠের আচরণ ঠিক টান করা পর্দার ন্যায় এবং মুক্ত-পৃষ্ঠ সর্বদাই তার ক্ষেত্রফলকে সংকুচিত করার প্রয়াস পায়।** তরলের মুক্তপৃষ্ঠে সর্বদাই যেন একটা টান বর্তমান রয়েছে। তরলপৃষ্ঠের এই টানকে **পৃষ্ঠটান** বলে।

4. 2 পৃষ্ঠটান ও তার সংজ্ঞা (Definition of surface tension)

ধর, কোন তরলপৃষ্ঠের উপর AB একটা রেখা। এটি পৃষ্ঠটিকে P ও Q এই দুই অংশে ভাগ করছে।

যেহেতু পৃষ্ঠটি টানের প্রভাবাধীন, অতএব P অংশ Q অংশের উপর AB-রেখার আড়াআড়ি (লম্বভাবে) বল প্রয়োগ করছে এবং Q অংশ P অংশের উপর অনুরূপে সমান বল প্রয়োগ করছে। প্রতি একক দৈর্ঘ্যে বলের পরিমাণই ঐ তরলের পৃষ্ঠটানের পরিমাণ।

চিত্র 45

অতএব, কোন তরলপৃষ্ঠের উপর একটি রেখা কল্পনা করলে ঐ রেখার একক দৈর্ঘ্যে পৃষ্ঠের স্পর্শক বরাবর উভয়দিকে অভিলম্বভাবে যে বল ক্রিয়া করে তা-ই ঐ তরলের **পৃষ্ঠটান**।

স্পষ্টত পৃষ্ঠটানের একক ডাইন/সেমি বা পাউণ্ডাল/ফুট।

তরলের পৃষ্ঠটানের পরিমাণ তরলের প্রকৃতি ছাড়াও অন্যান্য বিষয়ের উপর নির্ভর করে। যেমন

(i) তরলের **উষ্ণতা**—উষ্ণতা বাড়লে টান কমে, কমলে বাড়ে। (ii) **অপদ্রব্যের সান্নিধ্য**—অপদ্রব্যের স্পর্শে টান সাধারণত হ্রাস পায়। জলে তেল ফেললে জলের পৃষ্ঠটান বেশ কমে যায়। (iii) উপরের **মাধ্যম**—তরলের উপরিস্থিত মাধ্যম পাল্টালে টানেরও পরিবর্তন হয়। (iv) **দ্রবিত পদার্থের** অবস্থিতি—অজৈব বস্তু দ্রবিত থাকলে টান বাড়ে, জৈব বস্তুর ক্ষেত্রে কমে। (v) **তড়িতাবস্থা**—তরলের তড়িতাবস্থার উপর টান নির্ভর করে।

তালিকা 4.1 : পৃষ্ঠটান

তরল (উপরের মাধ্যম বায়ু)	পৃষ্ঠটান S (ডাইন / সেমি)		
	$0^\circ C$	$20^\circ C$	$50^\circ C$
জল	75·6	72·7	67·9
পারদ	50·8	480	445
বেঞ্জিন	31·5	28·9	25·0
কোহল	24·0	22·3	19·8
অ্যাসিটোন	26·3	23·7	19·9
গ্লিসারিন	—	63·1	—

4. 3 পৃষ্ঠটান সংক্রান্ত ঘটনা

(Phenomena due to surface tension)

I. একটা তুলি বা জানালা-দরজায় রঙ দেওয়ার বুরুশ নিয়ে জলে বা তেলে ডোবাও। দেখ, তরলের মধ্যে ওদের আঁশগুলো কেমন পৃথকভাবে বিন্যস্ত। উপরে তুলে আনো। দেখ, আঁশগুলো কেমন একত্রে সংবদ্ধ হয়ে গেল। জলের পৃষ্ঠটানের জন্যই এমন হয়। বাইরে আনলেই জলের সর আঁশগুলোকে আটকে দেয় এবং ক্ষেত্রফল সংকোচনের ধর্মের জন্য ওরা একত্র সংবদ্ধ হয়ে পড়ে।

II. ছিপিহীন একটি টেবিল-সসের বোতল উপুড় করে ধরলে দেখা যায় যে, সস পড়ছে না। এর কারণ, টেবিল-সসের বোতলের মুখের ছেঁদা খুবই ছোট। ঐ ছেঁদার মুখে এসে তরল একটা টান-করা-পর্দার মতো হয়ে তরলকে ধরে রাখে, পড়তে দেয় না। কয়েক ফোঁটা ফেলতে বোতলকে বেশ ঝাঁকুনি দিতে হয়—ঝাঁকুনিতে শক্তি পেয়ে পৃষ্ঠটান অতিক্রম ক'রে তবে তরল পড়ে।

III. লেমনেডের বোতল থেকে যখন জল ঢালা হয় তখন লক্ষ্য করলে দেখা যায় যে, বুদবুদ আকারে বোতলে যে বায়ু ঢুকছে সেই বুদবুদের পৃষ্ঠ বক্রতল-বিশিষ্ট। তরলের পৃষ্ঠটানই এর কারণ। মনে হয় যেন তরলের স্থিতিস্থাপক পর্দাকে টান করে বায়ু ঢুকছে।

IV. একটা সরু-গলা বোতলের মুখে কাচদণ্ড ধরে ওর গা বেয়ে একটা পাত্র থেকে জল ঢালো। দেখ, জল ঠিক কাচ বেয়ে বোতলেই পড়ছে, বাইরে পড়ছে না। জলের পৃষ্ঠটান জলকে কাচের চারধারে টেনে রেখে ঐ রকম ঘটাচ্ছে।

V. একটা অগভীর ডিসে কিছু জল নাও। তারপর জলের ঠিক মাঝখানে সাবধানে কয়েক ফোঁটা কোহল ফেল। জল ও কোহলের বিভেদ রেখায় কোহলের পৃষ্ঠটান কেন্দ্রমুখী আর জলের পৃষ্ঠটান বহির্মুখী। জলের পৃষ্ঠটান কোহলের চেয়ে বেশি, ফলে কেন্দ্রাঞ্চল থেকে কোহল দ্রুত চারধারে ছড়িয়ে পড়ে।

VI. এক টুকরো কর্পূরকে জলে ফেললে টুকরোটি জলের উপর এলোমেলো ছুটোছুটি করে বেড়ায়। এর কারণ পৃষ্ঠটান। কর্পূর জলে গলে। কিন্তু জলের সংস্পর্শে একদিকের কর্পূর অন্যদিকের তুলনায় বেশি গলে। যেখানে কর্পূর বেশি গলছে, সেখানে অপদ্রব্যের সান্নিধ্যে জলের পৃষ্ঠটান খুব কমে যাচ্ছে, বিপরীত বিন্দুতে ততটা নয়। ফলে টুকরোটিতে একটা অসম পৃষ্ঠটান-বল ক্রিয়া করছে।

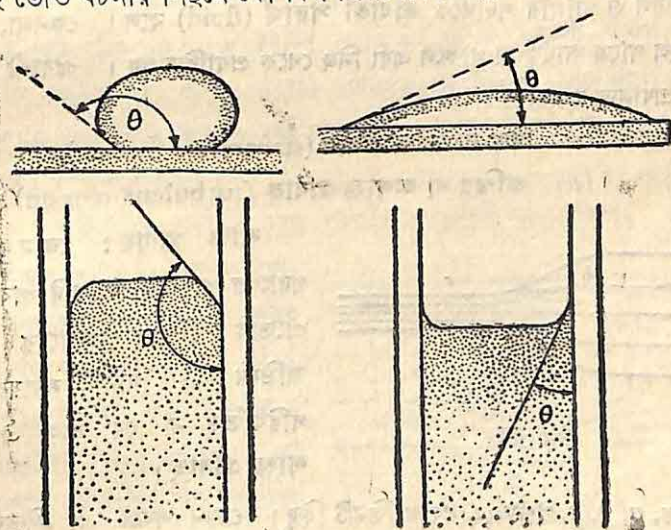
এতেই টুকরোটি জলের উপর সরে যায়। অসম বলের ক্রিয়ামুখ সতত পরিবর্তনশীল ; ফলে টুকরোটি ইতস্তত ঘুরে বেড়ায়।

4.4 কৈশিকত্ব (Capillarity)

খুব সরু রন্ধ্রের নলকে **কৈশিক নল** (**capillary tube**) বলে।

একটি কৈশিক নল নিয়ে জলে ডোবালে দেখা যায় যে, নলের মধ্যে জলতল বাইরের জলতলের চেয়ে উঁচুতে রয়েছে। নল যত সরু হয়, উচ্চতা তত বাড়ে। নলের ভিতরে জলতল ঠিক অনুভূমিক নয়—**অবতল**। জলের পরিবর্তে কৈশিক নলটিকে পারদে ডোবালে বিপরীত অবস্থা দেখা যায় (চিত্র 46)। অর্থাৎ নলমধ্যস্থ পারদতল বাইরের পারদতলের চেয়ে নিচুতে থাকে। নলের পারদতলও অনুভূমিক নয়—**উত্তল**।

শুধু জল বা পারদই নয়, যে কোন তরলে কৈশিক নল ডোবালেই তরল ঐ কৈশিক নলে হয় উঠবে, না হয় নামবে। কৈশিক নলে (বা কঠিন পদার্থে আবদ্ধ সংকীর্ণ পরিসরে) তরলের এই জাতীয় আরোহণ বা অবরোহণের ঘটনাকে **কৈশিকত্ব** বলে। তরলের পৃষ্ঠটানই এর কারণ।

বহু ভৌত ঘটনার পিছনে কৈশিকত্ব ক্রিয়াশীল। ব্লটিং কাগজে কালি শুঁষে

চিত্র 46

নেওয়া, তেলে পলতে ডুবিয়ে বাতি জ্বালানো, তোয়ালে দিয়ে গা মোছা, এগুলি কৈশিক ক্রিয়ার উদাহরণ।

স্পর্শকোণ : কাচের প্লেটে সামান্য জল ঢাললে প্লেট ভিজে যায় কিন্তু পারদ ঢাললে প্লেটে ভেজে না, পারদ প্লেটে দাঁড়িয়ে থাকে। তরলপৃষ্ঠ কঠিনের সংস্পর্শে এলেই স্পর্শরেখার লম্বতলে স্পর্শবিন্দুতে তরলপৃষ্ঠের উপর অঙ্কিত স্পর্শক কঠিনের সীমারেখার সঙ্গে তরলাভ্যন্তরে একটি কোণ উৎপন্ন করে। ঐ কোণকে **স্পর্শ কোণ** (Contact angle) θ বলে। কাচ ও জলের স্পর্শকোণ সূক্ষ্মকোণ, কিন্তু পারদ ও কাচের স্পর্শকোণ স্থূলকোণ। স্পর্শকোণের মান সংশ্লিষ্ট কঠিন ও তরলের প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল। কাচের সঙ্গে যে সব তরলের স্পর্শকোণ সূক্ষ্মকোণ, সেগুলির ক্ষেত্রে কৈশিক আরোহণ ঘটে। আর, যে সব তরলের স্পর্শকোণ স্থূলকোণ তাদের ক্ষেত্রে কৈশিক অবরোহণ হয়।

গাণিতিক বিশ্লেষণে প্রমাণ করা যায় যে, পৃষ্ঠটান S, নলের ব্যাসার্ধ r, স্পর্শকোণ θ, তরলের ঘনাঙ্ক ρ এবং কৈশিক উচ্চতা h হলে

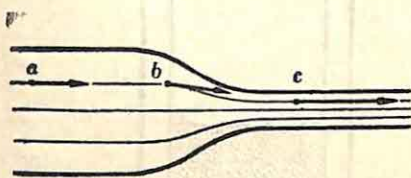
$$S = \frac{rh\rho g}{2 \cos \theta} = \frac{1}{2} rh\rho g \qquad (\text{যদি } \theta \text{ ছোট হয়})$$

এই সমীকরণের সাহায্যে তরলের পৃষ্ঠটান নির্ণয় করা হয়।

4.5 প্রবাহী পদার্থের গতি (Motion of a fluid)

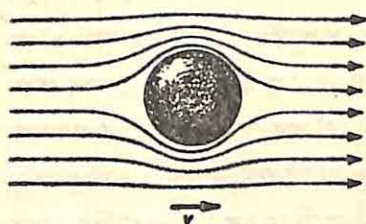
তরল ও গ্যাসীয় পদার্থকে **প্রবাহী পদার্থ** (fluid) বলে। কেননা, এদের ধর্ম হল পাত্রে আবদ্ধ না থাকলে এরা নিজ থেকে প্রবাহিত হয়। প্রবাহী পদার্থের গতি প্রধানত দু-প্রকার :

(i) **স্থির বা শান্ত প্রবাহ** (streamline motion)

(ii) **অস্থির বা অশান্ত প্রবাহ** (turbulent motion)

চিত্র 47

শান্ত প্রবাহ : কোন প্রবাহী পদার্থের প্রবাহকালে যদি প্রবাহপথের প্রত্যেক বিন্দুতে প্রবাহের বেগের অভিমুখ ও মান সময়ের সঙ্গে পরিবর্তিত না হয় তবে ঐ প্রবাহ **শান্ত প্রবাহ**।

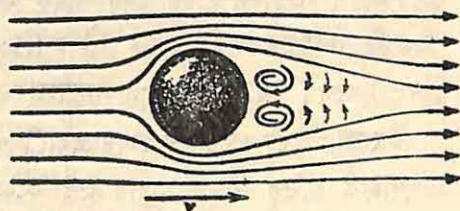
ধর, a, b, c প্রবহমান তরলে তিনটি বিন্দু। কোন সময়ে ঐ বিন্দুত্রয়ে বেগ যথাক্রমে v_1, v_2, v_3 অর্থাৎ a বিন্দুতে স্রোতবাহিত বস্তুকণার বেগ v_1, b বিন্দুতে v_2 এবং c বিন্দুতে v_3। যদি পরবর্তী কোন সময়ে বস্তুকণা a-তে এলে বেগ v_1 (মান ও অভিমুখ উভয়ত), b-তে এলে v_2, ইত্যাদি হয় তবেই প্রবাহটি **শান্ত প্রবাহ**।

শান্তপ্রবাহে প্রতিটি কণা পূর্বগামীর বেগ ও গতিপথকে অনুসরণ করে এবং ঐ পথকে **ধারারেখা** (streamline) বলে। স্পষ্টত, কোন ধারারেখার উপরিস্থিত সকল কণিকাই ঐ রেখা ধরে চলবে। শান্তপ্রবাহে ধারারেখার উপরে কোন বিন্দুতে স্পর্শক টানলে ঐ স্পর্শক ঐ বিন্দুতে বেগের অভিমুখ নির্দেশ করে। দুটি ধারারেখা কখন ছেদ করে না। কেননা, সেক্ষেত্রে ছেদবিন্দুতে কণিকার দুটি সম্ভাব্য গতিপথ দেখা দেবে।

চিত্র 48

উপরের আলোচনা থেকে ধারারেখার নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেওয়া যেতে পারে:

সংজ্ঞা: কোন প্রবাহী পদার্থের **ধারারেখা** হল এমন একটি স্থির বক্র বা ঋজু রেখাপথ, যে পথে কণাগুলো সুবিন্যস্তভাবে পর পর অগ্রসর হয় এবং যে পথের কোন বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে কণিকার বেগের অভিমুখ নির্দেশ করে।

অশান্ত প্রবাহ: দেখা গেছে যে, শান্তপ্রবাহের অন্যতম শর্ত হল বেগের স্বল্পতা। বেগ যদি ক্রমাগত বাড়ানো যায় তবে একটি নির্দিষ্ট বেগের পর প্রবাহ আর শান্ত থাকে না। ঐ নির্দিষ্ট প্রান্তিক বেগকে **সংকট বেগ** (critical velocity) বলে। কোন প্রবাহী পদার্থের সংকট বেগ কত হবে তা অনেক বিষয়ের উপর নির্ভর করে। যেমন তরলের প্রকৃতি, প্রবাহখাতের প্রস্থ, দেওয়াল গাত্রের মসৃণতা ইত্যাদি।

সে যাই হোক, প্রবাহীর বেগ সংকট বেগ অতিক্রম করলেই প্রবাহ আর সুবিন্যস্ত থাকে না অর্থাৎ তখন প্রবাহপথের যে কোন বিন্দুতে বেগের মান ও অভিমুখ দুই-ই সময়ের সঙ্গে এলোমেলোভাবে পরিবর্তিত হতে থাকে। এই অবস্থায় প্রবাহের গতিকে **অশান্ত প্রবাহ** বলে। পথের কোন বিন্দুতে কণিকাগুলো বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন দিকে চলে। প্রবাহের মধ্যে স্থানে স্থানে **আবর্ত** (vortices) ও **ঘূর্ণি** (eddies) দেখা দেয়। (চিত্র 49 দেখ)।

চিত্র 49

ধারারেখীকরণ (Streamlining)ঃ দ্রুতগতি যানবাহন বায়ু বা কোন প্রবাহী পদার্থের ভিতর দিয়ে যাওয়ার সময় যাতে যথাসম্ভব কম বাধার সম্মুখীন হয় এজন্য এদের আকারকে **ধারারেখ আকৃতি** (streamlined) দেওয়া হয়। এরোপ্লেনের পাখা, মূল বডি ইত্যাদি দেখলে ধারারেখ আকৃতি সম্পর্কে ধারণা হবে। এই আকারে কোনরূপ অনিয়মিত ভাঁজ বা খাঁজ থাকবে না; শেষের অংশ ক্রমে সরু হয়ে যাবে। ফলে মাধ্যম দিয়ে বেগে বেড়িয়ে গেলেও মাধ্যমের স্তরগুলো এদের গা বরাবর পিছনে সরে যায়—ঘূর্ণি বা আবর্তের সৃষ্টি করে না। জলে সহজে চলাফেরা করার জন্য এবং বায়ুতে সহজে উড়ে-বেড়ানোর জন্য মাছ ও পাখির দেহও ধারারেখ আকৃতিযুক্ত।

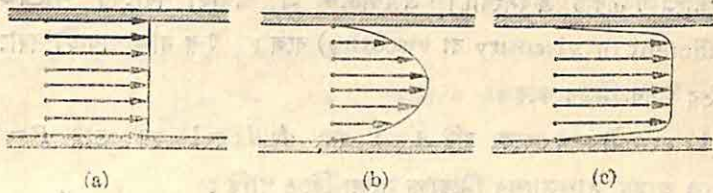
4.6 সান্দ্রতা (Viscosity)

ধর, কোন স্থির অনুভূমিক তলের উপর দিয়ে কোন প্রবাহী পদার্থ প্রবাহিত হচ্ছে। ঐ পদার্থের মধ্যে পরস্পর অনেকগুলো অনুভূমিক স্তর কল্পনা করা যায়। বিভিন্ন স্তরগুলোর বেগ কিন্তু সমান নয়। আসঞ্জনের (adhesion) জন্য তলের সংস্পর্শের স্তরটি স্থির অর্থাৎ বেগশূন্য; অনুভূমিকতল থেকে যত দূরে যাওয়া যায়, বেগ তত বাড়তে থাকে। ফলে ঐ প্রবাহী পদার্থের পর পর যে কোন দুটি স্তরের মধ্যে একটা আপেক্ষিক বেগ থাকে। যে স্তরের বেগ বেশি, সেটি অপেক্ষাকৃত অল্প বেগের নিচের স্তরটিকে ত্বরান্বিত ক'রে নিজের সঙ্গে টেনে নিতে চেষ্টা করে। বিপরীতপক্ষে, নিচের স্তরটি অপেক্ষাকৃত বেশি বেগের উপরের স্তরের গতিকে প্রতিহত করে বেগ মন্দীভূত করার চেষ্টা পায়। অর্থাৎ উভয়স্তরই পরস্পরের আপেক্ষিক বেগকে নষ্ট করে দিতে চায়। কাজেই স্তরদ্বয়ের মধ্যে একটি ঘর্ষণ বলের উদ্ভব ঘটে। এই বল স্তরের উপর স্পর্শক বরাবর ক্রিয়াশীল। এই ঘর্ষণ বলকে **প্রবাহী পদার্থের ঘর্ষণ বল** (fluid friction) বা **সান্দ্রতা বল** (viscous force) বলে। ঘটনাটিকে বলে **সান্দ্রতা** (viscosity)।

সংজ্ঞাঃ যে ধর্মের জন্য কোন প্রবাহী পদার্থ ওর অভ্যন্তরের বিভিন্ন স্তরের আপেক্ষিক গতির বিরুদ্ধে বাধার সৃষ্টি করে, তাকে ঐ প্রবাহী পদার্থের **সান্দ্রতা** (viscosity) বলে।

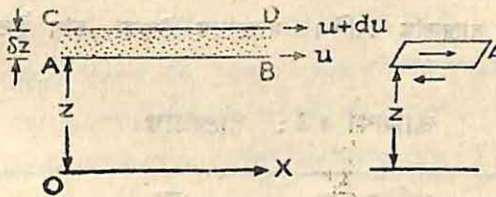
দৈনন্দিন অভিজ্ঞতায় আমরা দেখি যে, জল বা ঐ জাতীয় তরল পদার্থকে নাড়িয়ে ছেড়ে দেওয়া হলে কিছু সময় পরে আপনাআপনি গতি বন্ধ হয়ে যায়। তরলের সান্দ্রতাজনিত আভ্যন্তরীণ ঘর্ষণ বলই এর কারণ।

নিচের চিত্রে নলপথে প্রবাহের তিনটি ভিন্ন অবস্থা দেখানো হলো। প্রবাহী পদার্থকে সান্দ্রতাহীন ধরে চিত্র (*a*)-তে প্রবাহী কণিকার বেগভেক্টরগুলোর রূপ প্রদর্শিত হয়েছে ; লক্ষ্য কর যে, ভেক্টর শীর্ষগুলোর দ্বারা সূচিত তলটি সমতল এবং পদার্থটি সামগ্রিকভাবে একসঙ্গে নলপথে প্রবাহিত হচ্ছে। চিত্র (*b*)-তে সান্দ্রতা-

(a) (b) (c)

চিত্র 50

যুক্ত প্রবাহী পদার্থের বেগভেক্টরের রূপ দেখানো হলো। প্রবাহটি শান্তপ্রবাহ। লক্ষ্য কর যে, নলের অক্ষ বরাবর বেগ সর্বোচ্চ, কমতে কমতে নলের গায়ে গিয়ে শূন্যে দাঁড়ায় ; চিত্র (*c*)-তে ঐ পদার্থেরই অশান্তপ্রবাহে বেগভেক্টরের রূপ দেখানো হয়েছে।

সান্দ্রতাঙ্ক ঃ ধর OX অনুভূমিক তলের উপর দিয়ে কোন প্রবাহী পদার্থ শান্ত-প্রবাহে প্রবাহিত হচ্ছে। প্রবাহের অভ্যন্তরে AB ও CD দুটি অনুভূমিক

C D → u+du
δz
A B → u
z
O X
A
z

চিত্র 51

স্তর। এদের অন্তর্বতী দূরত্ব dz এবং বেগের পার্থক্য dv ; dv/dz-কে **বেগের নতি** (velocity gradient) বলে।

শান্ত-প্রবাহের ক্ষেত্রে নিউটন দেখান যে, কোন স্তরের উপর ক্রিয়াশীল সান্দ্রতা-বল F-র মান

(*i*) স্তরের তলক্ষেত্র A-র সমানুপাতী, ও

(*ii*) বেগের নতি dv/dz-র সমানুপাতী।

গাণিতিক ভাষায়, $F \propto A$

এবং $\propto dv/dz$

$$\therefore \quad F \propto A \frac{dv}{dz}$$

$$\therefore \quad F = \eta A \frac{dv}{dz} \quad \ldots\ldots(1)$$

এখানে η একটি ধ্রুবসংখ্যা। ধ্রুবকটিকে ঐ প্রবাহী পদার্থের **সান্দ্রতাঙ্ক** (coefficient of **viscosity** বা viscosity) বলে। η-র মান প্রবাহী-পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

(1) নং সমীকরণ থেকে, যদি $A=1$ এবং $dv/dx=1$ হয় তবে $F=\eta$। এ থেকে আমরা সান্দ্রতাঙ্কের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দিতে পারি :

সংজ্ঞা : কোন প্রবহমান প্রবাহী পদার্থের মধ্যে একক দূরত্বে অবস্থিত দুটি স্তরে একক আপেক্ষিক বেগ বজায় রাখতে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে যে কৃন্তন বলের উদ্ভব হয় তাকে ঐ পদার্থের **সান্দ্রতাঙ্ক** বলে।

সি. জি. এস. পদ্ধতিতে এর একক হল গ্রাম সেমি$^{-1}$ সেকেণ্ড$^{-1}$। এর অন্য নাম **পয়েজ** (poise)।

বিভিন্ন তরলের সান্দ্রতাঙ্ক বিভিন্ন। এক গ্লাস জল ও এক গ্লাস মধু নিয়ে ঢালতে গেলেই বোঝা যায় যে, জলের চেয়ে মধুর সান্দ্রতাঙ্ক বেশি। আবার, মধুর চেয়ে আলকাতরার সান্দ্রতাঙ্ক বেশি। সান্দ্রতাঙ্ক উষ্ণতা, চাপ ইত্যাদির উপর নির্ভর করে।

তালিকা 4.2 : সান্দ্রতাঙ্ক

উষ্ণতা °C	রেড়ির তেল (পয়েজ)	জল ($\times 10^{-2}$ পয়েজ)	বায়ু ($\times 10^{-6}$ পয়েজ)
0	53	1·792	171
20	9·86	1·005	181
40	2·31	0·656	190
60	0·80	0·469	200
80	0·30	0·357	209
100	0·17	0·284	218

অনুশীলনী

1. তরলের মুক্তপৃষ্ঠ একটি টান করা পর্দার ন্যায় আচরণ করে—কয়েকটি দৃষ্টান্ত দিয়ে এ কথার সত্যতা প্রমাণ কর।

2. পৃষ্টটান বলতে কি বোঝ? কিভাবে পৃষ্টটানের পরিমাপ করা হয়? এর একক কি?

3. পৃষ্টটানের কারণ কি? পৃষ্টটানের কতকগুলি দৃষ্টান্ত দাও।

4. পৃষ্টটান সংক্রান্ত কয়েকটি পরীক্ষার সচিত্র বিবরণ দাও।

5. কৈশিকত্ব ও স্পর্শকোণ কি? কৈশিক আরোহণ ও অবরোহণের সঙ্গে স্পর্শকোণের কি সম্পর্ক? কৈশিকত্বের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ কর।

6. প্রবাহী-পদার্থ বলতে কি বোঝ? প্রবাহী পদার্থের গতি কয় প্রকার ও কি কি?

7. শান্ত প্রবাহ ও অশান্ত প্রবাহ কি? ওদের মধ্যে পার্থক্য কোথায়? ধারারেখা কাকে বলে? সংকট বেগ কি?

8. ধারারেখীকরণ কাকে বলে? এর উদ্দেশ্য কি?

9. সান্দ্রতা বলতে কি বোঝ? সান্দ্রতা বল কাকে বলে? সান্দ্রতাঙ্ক কি? সান্দ্রতাকে আভ্যন্তরীণ ঘর্ষণ বল বলা হয় কেন?

10. সান্দ্রতা বলের পরিমাণ সম্পর্কে নিউটনের সূত্র কি? দেখাও যে, এই সূত্র সান্দ্রতাঙ্কের সংজ্ঞা জোগায়।

11. নিম্নলিখিত ঘটনাগুলো কিভাবে ব্যাখ্যা করবে?

(i) আর্কিমিডিসের সূত্রের বিরোধিতা করে সূঁচকে জলে ভাসানো যায়।

(ii) কর্পূর টুকরো জলে ফেললে জলের উপর এলোমেলো ঘুরে বেড়ায়।

(iii) অনেক পোকামাকড় জলের উপর হেঁটে বেড়ায়, কিন্তু ভিজে যায় না।

তাপ বিজ্ঞান
(Heat)

1 তাপ সংক্রান্ত প্রাথমিক ধারণা
প্রথম অধ্যায় (Basic concepts of Heat)

1.1 তাপের প্রকৃতি (Nature of Heat)

একটি বস্তুকে গরম বা ঠাণ্ডা অবস্থায় ওজন করলে তার ভরের কোন পরিবর্তন দেখা যায় না। কাজেই তাপের কোন ভর নেই। ভর যখন নেই, তখন তাপকে পদার্থ বলা চলে না। তাপ তবে কি? আধুনিক বিজ্ঞানীদের মতে, কোন বস্তুদেহে তাপ প্রবেশ করলে বস্তুর অণুগুলো সজোরে কাঁপতে থাকে। কম্পনের অর্থ অণুগুলোর গতিশক্তির বৃদ্ধি। অতএব তাপ লাভ করলে অণুর শক্তি বৃদ্ধি ঘটে। **তাপ এক প্রকার শক্তি।** অণুর মোট গতীয় শক্তির পরিমাণই হল মোট তাপের পরিমাপ।

তাপ যে শক্তি তার প্রমাণ : অন্য শক্তি থেকে তাপশক্তি পাওয়া যায় এবং তাপশক্তিকে অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়। দুই বস্তু ঘষলে তাপ উদ্ভূত হয়। এখানে যান্ত্রিক শক্তি তাপে রূপ নিল। কয়লার দহনে তাপ উৎপন্ন হয়। রাসায়নিক শক্তি তাপশক্তিতে পরিণত হল। স্টিম ইঞ্জিনে তাপশক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়, ইত্যাদি।

1.2 উষ্ণতা (Temperature)

গরম ও ঠাণ্ডা বোধ আমাদের সহজাত। সাধারণত স্পর্শের দ্বারা আমরা গরম ও ঠাণ্ডা জিনিসের উষ্ণতার পার্থক্য বুঝতে পারি। বরফে হাত দিলে ঠাণ্ডা লাগে। ফুটন্ত জল স্পর্শ করলে গরম বোধ হয়। পদার্থের **তাপীয় অবস্থার (thermal condition)** পরিচায়ক এই ঠাণ্ডা-গরমের অনুভূতিকে সোজা কথায় আমরা **উষ্ণতা** বা **তাপমাত্রা** বলি। গরম বস্তুর তাপমাত্রা বেশি, ঠাণ্ডা বস্তুর তাপমাত্রা কম—এরূপ বলা হয়ে থাকে। আর একটি কথা। কোন গরম বস্তুকে যদি কোন ঠাণ্ডা বস্তুর সংস্পর্শে আনা যায়—ধরা যাক, একটা উত্তপ্ত ধাতব বল-কে এক বালতি ঠাণ্ডা জলে ছেড়ে দেওয়া হল—তবে গরম বস্তু ক্রমশ ঠাণ্ডা হয়ে আসে এবং ঠাণ্ডা বস্তু ক্রমে গরম হয়। এর বিপরীতটা কখনও দেখা যায় না। এর কারণ, গরম বস্তু ঠাণ্ডা বস্তুকে তাপশক্তি দান করে

এবং ঠাণ্ডা বস্তু ঐ তাপ গ্রহণ করে। একে ভিত্তি করে তাপ-বিজ্ঞানে উষ্ণতার নিম্নোক্ত সংজ্ঞা নির্ধারণ করা হয়েছে।

সংজ্ঞা : কোন বস্তুর উষ্ণতা হল সেই বস্তুর এমন এক তাপীয় অবস্থা যা থেকে বোঝা যায় যে, অন্য কোন বস্তুর সঙ্গে সংযোগ ঘটলে ঐ বস্তু অন্য বস্তুকে তাপ দেবে বা অন্য বস্তু থেকে তাপ গ্রহণ করবে।

উষ্ণতাকে তরলের তলের (level) সঙ্গে তুলনা করা যায়। উচ্চতল থেকে তরল যেমন সর্বদা নিম্নতলে প্রবাহিত হয়, তাপও তেমনি উচ্চ উষ্ণতা থেকে সর্বদা নিম্ন উষ্ণতায় প্রবাহিত হয়। তল যেমন তরলের প্রবাহের দিক স্থির করে, উষ্ণতাও তেমনি তাপের প্রবাহের দিক নির্ধারণ করে।

1.3 তাপ এবং উষ্ণতা (Heat and temperature)

তাপ ও উষ্ণতা মোটেই সমার্থক নয়।

তাপ এক প্রকার শক্তি এবং উষ্ণতা বস্তুর তাপীয় অবস্থা মাত্র।

তাপ প্রয়োগে বস্তুর উষ্ণতা বাড়ে, তাপ বর্জনে উষ্ণতা হ্রাস পায়। কাজেই তাপ হল কারণ এবং উষ্ণতা তার ফল।

কোন বস্তুর উষ্ণতা বেশি হলেই যে, তাতে তাপের পরিমাণ বেশি হবে তা নয়। এক টুকরো তপ্ত লৌহখণ্ডে যে পরিমাণ তাপ থাকে তা সাধারণ উষ্ণতায় এক চৌবাচ্চা জলের মোট তাপ-পরিমাণের চেয়ে কম, যদিও তপ্ত লৌহখণ্ডের উষ্ণতা চৌবাচ্চার জলের উষ্ণতার চেয়ে অনেক বেশি।

দুটি বস্তুর মধ্যে তাপীয় সংযোগ ঘটলে তাপের আদান-প্রদান হবে কি না এবং হলে কে তাপ বর্জন করবে এবং কে গ্রহণ করবে তা ঐ বস্তু দুটির তাপের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না, নির্ভর করে উষ্ণতা বা তাপমাত্রার উপর। উচ্চতর উষ্ণতা থেকে তাপ নিম্নতর উষ্ণতার দিকে প্রবাহিত হয়।

1.4 তাপের ফল (Effects of Heat)

তাপের প্রভাবে পদার্থের যে যে **পরিবর্তন** ঘটে নিচে তার কয়েকটি উল্লেখ করা হল।

1. তাপ প্রয়োগে পদার্থের প্রসারণ এবং তাপ বর্জনে **সংকোচন** ঘটে। একটি রবারের বেলুন ফুলিয়ে রৌদ্রে রাখ। বেশ কিছুক্ষণ পরে দেখবে আয়তনে বড় হয়ে গেছে। সম-তাপমাত্রার বৃদ্ধিতে কঠিনের তুলনায় তরল এবং তরলের তুলনায় গ্যাসীয় পদার্থ বেশি প্রসারিত হয়।

2. তাপ পদার্থের **ভৌত** অবস্থার রূপান্তর ঘটায়। বরফ তাপে গলে জল হয়ে যায়, জল গরম করলে বাষ্পে পরিণত হয়। বরফ, জল ও জলীয় বাষ্প একই পদার্থের তিনটি অবস্থা মাত্র—তাপ প্রয়োগে অবস্থান্তর ঘটেছে।
3. দাহ্য পদার্থ নয় এরূপ বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করলে **ভাস্বরতা** আসে অর্থাৎ ঐ বস্তু আলোক বিকীরণ করে। ইলেকট্রিক বাল্‌বের তারের ভিতর দিয়ে বিদ্যুৎ চালালে তার গরম হয়। ক্রমে ঐ তার এত গরম হয় যে, তা থেকে আলো বিকিরিত হতে থাকে।
4. তাপ প্রয়োগে কোন কোন পদার্থের **রাসায়নিক পরিবর্তন** ঘটে। পটাশিয়ম ক্লোরেটে তাপ দাও। দেখবে, পদার্থটি বিশ্লিষ্ট হয়ে তা থেকে অক্সিজেন বেরুচ্ছে। তাপ এই রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটাচ্ছে।
5. দাহ্য পদার্থে ক্রমাগত তাপ প্রয়োগ করলে পদার্থটি একটি নির্দিষ্ট তাপ মাত্রায় পৌছে জ্বলে উঠে। ঐ তাপমাত্রাকে ঐ পদার্থের **জ্বলনাঙ্ক** **(ignition point)** বলে। এক টুকরো কাগজ সারাদিন রোদে ফেলে রাখলেও জ্বলে না। কিন্তু জ্বলন্ত উনুনে ফেললে তক্ষুণি জ্বলে ওঠে।
6. এ ছাড়া, তাপের হ্রাসবৃদ্ধিতে পদার্থের দ্রাব্যতা, তড়িৎ পরিবাহিতা, গ্যাসীয় পদার্থের চাপ ইত্যাদি **ভৌতগুণের পরিবর্তন** ঘটে।
7. তাপ প্রয়োগে বস্তুর **উষ্ণতা বাড়ে,** অপসারণে উষ্ণতা **কমে।** একমাত্র অবস্থান্তরের (কঠিন ⇌ তরল ⇌ গ্যাস) সময় উষ্ণতার কোন পরিবর্তন হয় না।

1.5 উষ্ণতার পরিমাপ (Measurement of Temperature)

পরীক্ষা : ধরা যাক তিনটি পাত্রে যথাক্রমে শীতল, ঈষদুষ্ণ ও গরম জল নেওয়া হল (চিত্র 1)। এখন ডান হাত খানিকক্ষণ গরম জলের পাত্রে এবং বাম হাত ঠাণ্ডা জলের পাত্রে ডুবিয়ে রেখে দুই হাত-ই একসঙ্গে ঈষদুষ্ণ পাত্রের জলে ডোবান হল। বাম হাতে পাত্রের জল ঠাণ্ডা ও ডান হাতে পাত্রের জল গরম বলে মনে হবে। বোঝা গেল, উষ্ণতার পরিমাপে অনুভূতির বিচার নির্ভুল নয়।

উষ্ণতা সঠিকভাবে মাপার জন্য বিজ্ঞানীরা তাই তাপমান যন্ত্র বা **থার্মোমিটার (Thermometer)** উদ্ভাবন করেছেন। যে যন্ত্রের সাহায্যে কোন বস্তুর উষ্ণতা সঠিক পরিমাপ করা যায় তাকে **থার্মোমিটার** বলে।

তাপের প্রভাবে কঠিন, তরল ও বায়বীয় পদার্থের নানা ধর্মের পরিবর্তনগুলো মেপে উষ্ণতা বের করা হয়। এই হল **থার্মোমিটারের মূল সূত্র**।

গরম জল ঈষদুষ্ণ জল ঠাণ্ডা জল

চিত্র 1

বিভিন্ন ধর্মের পরিবর্তনকে ভিত্তি করে নানা ধরনের থার্মোমিটার নির্মিত হয়েছে।

উষ্ণতার পরিবর্তনের সঙ্গে তরল পদার্থের আয়তনের পরিবর্তন ঘটে। পরীক্ষাগারে সাধারণত যে সমস্ত থার্মোমিটার ব্যবহার করা হয় সেগুলো তরলের এই গুণ প্রয়োগ করে তৈরি হয়েছে। পারদ থার্মোমিটার, অ্যালকোহল থার্মোমিটার ইত্যাদি এই জাতীয় **তরল থার্মোমিটার** (liquid-in-glass thermometer)

এ ছাড়া, রয়েছে **গ্যাস থার্মোমিটার** (gas thermometer), **রোধ থার্মোমিটার** (resistance thermometer), **থার্মোকাপল থার্মোমিটার** (thermocouple thermometer) ইত্যাদি।

গ্যাস থার্মোমিটারে গ্যাসের চাপের ও আয়তনের হ্রাসবৃদ্ধি দেখে উষ্ণতা মাপা হয়। রোধ থার্মোমিটারে প্লাটিনাম বা ঐ জাতীয় তড়িৎ পরিবাহীর রোধের হ্রাসবৃদ্ধি থেকে উষ্ণতা পরিমাপ করা হয়। আর থার্মোকাপলে দুটি ভিন্ন ধাতুযুগ্মের দুটি জোড়া-মুখে উদ্ভূত তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ থেকে উষ্ণতা নির্ধারণ করা হয়।

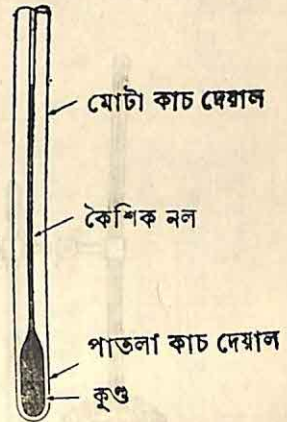
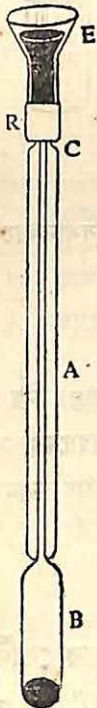
1.6 পারদ থার্মোমিটার (Mercury-in-glass thermometer)

সচরাচর এই থার্মোমিটার পরীক্ষাগারে বেশি ব্যবহার করা হয়। পারদ থার্মোমিটার তৈরি করতে নিম্নলিখিত উপকরণগুলো চাই।

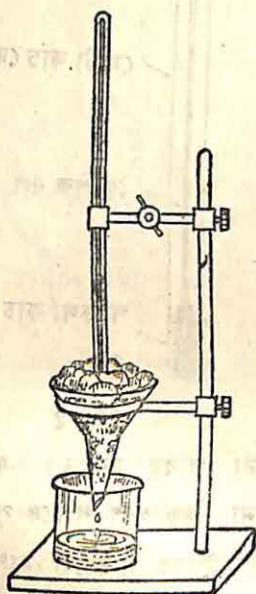
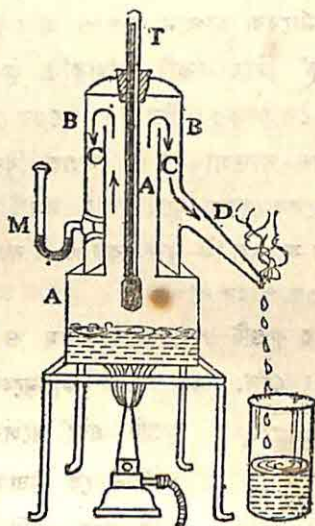
উপকরণ: আগাগোড়া সমান ব্যাসের সূক্ষ্ম ছিদ্রযুক্ত (capillary) শক্ত

কাচনল। কাচ গলানোর জন্য একটি ফিস টেল (fish tail) বার্নার, রবার নল, ছোট ফানেল, কিছু বিশুদ্ধ পারদ, চূর্ণ গলন্ত বরফ, স্টীম তৈরির পাত্র।

চিত্র 2

পদ্ধতিঃ কাচনলটির এক প্রান্ত ফিস টেল বার্নারের আগুনে গলাও এবং অপর প্রান্তে ফুঁ দিয়ে একটি চোঙাকৃতি কুণ্ড বা বাল্‌ব B তৈরি কর (চিত্র 3)। কুণ্ডের দেয়াল যেন বেশ পাতলা হয়। কুণ্ডের বিপরীত প্রান্তে নলের খোলা মুখে রবার নলটি R-র সাহায্যে ফানেল E যুক্ত কর ও ঐ ফানেলে কিছু বিশুদ্ধ পারদ নাও।

এবার কুণ্ডটি পর্যায়ক্রমে গরম ও ঠাণ্ডা কর এবং দেখ, এর ফলে কাচনলে সামান্য পারদ ঢুকছে। এইভাবে কুণ্ডটি এবং নলের সামান্য কিছু অংশ পারদে পূর্ণ কর। সর্বোচ্চ যে উষ্ণতা থার্মোমিটারের সাহায্যে মাপা হবে তার চেয়ে বেশি উষ্ণতার কোন তরলের বাষ্পে কুণ্ডটি রেখে দেখ পারদ আয়তনে বেড়ে গিয়ে নল বরাবর উঠে আসছে। ফানেলটি সরিয়ে নাও; পারদ যখন নলের প্রান্তদেশের কাছাকাছি এসেছে তখন সঙ্গে সঙ্গে বার্নারের জোরালো শিখায় প্রান্তটি গলিয়ে বন্ধ করে দাও।

চিত্র 3

এবারে এর দুটি **স্থিরাঙ্ক** (Fixed points) নির্দেশ করতে হবে। স্বাভাবিক চাপে বিশুদ্ধ বরফের গলনাঙ্ককে **নিম্ন স্থিরাঙ্ক** (Lower fixed point) এবং জলের স্ফুটনাঙ্ককে **উর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক** (Upper fixed point) ধরা হয়। কাজেই এর পরের কাজ হল থার্মোমিটারের বাল্‌ব ও নলের কিছু অংশ বরফ গুঁড়ায় ডোবানো (চিত্র 4)। দেখ, এর ফলে পারদ সূত্র নামতে নামতে এক জায়গায় এসে স্থির হয়ে গেল, আর নামলো না। এ স্থানে একটা চিহ্ন রাখতে হবে। এটি নিম্ন স্থিরাঙ্কের চিহ্ন। এরপর থার্মোমিটারের বাল্‌ব ও নলের কিছু অংশ প্রমাণ বায়ুচাপে স্টীমের মধ্যে রাখ

(চিত্র 5)। লক্ষ্য কর, পারদ স্থত্রের দৈর্ঘ্য বাড়তে বাড়তে এক স্থানে এসে স্থির হয়ে গেল, আর উঠল না। এখানে একটি চিহ্নাঙ্কন—উর্ধ্ব স্থিরাঙ্কের

চিত্র 4

চিত্র 5

চিহ্ন—করা চাই। দুই স্থিরাঙ্কের মধ্যবর্তী স্থানকে কয়েকটি সমানভাগে ভাগ করা হয়। এক এক ভাগকে **ডিগ্রি** বলে।

1.7 উষ্ণতার স্কেল (Scales of temperature)

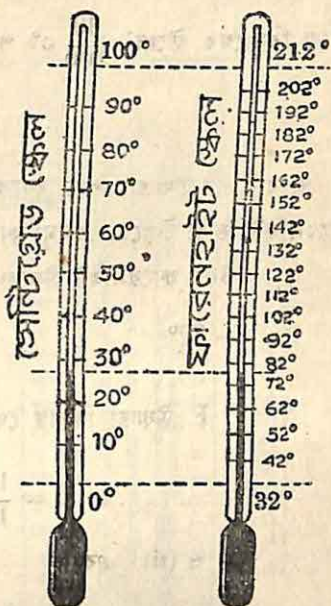
বিভিন্ন বিজ্ঞানী পারদ থার্মোমিটারের অংশাঙ্কনে (**scaling**) নিম্ন ও উর্ধ্ব স্থিরাঙ্কে ভিন্ন ভিন্ন মান আরোপ করেছেন এবং দুই স্থিরাঙ্কের মধ্যবর্তী অংশকে বিভিন্ন সমান ভাগে ভাগ করেছেন। তিন আবিষ্কর্তার নামানুসারে উষ্ণতার তিনটি স্কেল প্রচলিত আছে।

এ সম্পর্কে নিচে আলোচনা করা হল।

(a) **সেলসিয়াস স্কেল** (Celsius Scale)—আগে একে **সেন্টিগ্রেড** স্কেল বলা হত। এতে নিম্ন স্থিরাঙ্ক $= 0°C$, উর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক $= 100°C$। মধ্যবর্তী অংশ 100 সমানভাবে বিভক্ত। প্রতি ভাগ 1° সেলসিয়াস বা 1°C ;

(b) **ফারেনহিট স্কেল (Fahrenheit Scale)**—এতে নিম্ন স্থিরাঙ্ক 32°F এবং; ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক=212° F এবং দুই স্থিরাঙ্কের মধ্যবর্তী অংশ 180 সমান ভাগে ভাগ করা হয়। প্রত্যেক ভাগ 1°F;

(c) **রেমার স্কেল (Reaumer Scale)**—এতে নিম্ন স্থিরাঙ্ক=0°R, ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক=80° R; মধ্যবর্তী অংশ 80 সমান অংশে বিভক্ত। এক এক ভাগ = °R;

বৈজ্ঞানিক কাজে প্রধানত সেলসিয়াস স্কেলই ব্যবহৃত হয়।

চিত্র 6

তালিকা 1.1 : উষ্ণতার প্রচলিত স্কেল

স্কেল	বরফ বিন্দু	স্টীম বিন্দু	সমান অংশ	প্রতীক
1. সেলসিয়াস	0°	100°	100	°C
2. ফারেনহিট	32°	212°	180	°F
3. রেমার	0°	80°	80	°R
4. চরম সেলসিয়াস	273°	373°	100	°K

1.8 বিভিন্ন স্কেলের পারস্পরিক সম্পর্ক
(Relation between scales of temperature)

ধর, একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতা তিন স্কেলের তিন থার্মোমিটারে প্রকাশ করা হল। c, f ও r হল যথাক্রমে সেলসিয়াস, ফারেনহিট ও রেমার স্কেলে উষ্ণতার পাঠ।

∵ 100° সেলসিয়াস উষ্ণতা-পার্থক্য = 80° রেমার উষ্ণতা-পার্থক্য

∴ c° ,, ,, $= \frac{80}{100}$ c রেমার ডিগ্রি ,,

অর্থাৎ সেলসিয়াস স্কেলে যে উষ্ণতার পাঠ হিমাঙ্কের c° উপরে সেটি রেমার স্কেলে হিমাঙ্কের উর্ধ্বে $\frac{80}{100}$ c° পাঠ দেখাবে।

$$\therefore \quad r = \frac{80}{100} c \qquad \ldots\ldots (i)$$

আবার, যে উষ্ণতার পাঠ ফারেনহিট স্কেলে f° সেটি হিমাঙ্কের (f − 32) ফারেনহিট-ডিগ্রি উপরে, কেননা ফারেনহিট স্কেলে হিমাঙ্ক 32° F

∵ 180° ফারেনহিট উষ্ণতা-পার্থক্য = 100° সেলসিয়াস উষ্ণতা-পার্থক্য

∴ f − 32° ,, ,, $= \frac{100}{180}(f-32)$,, ,,

∴ f° F উষ্ণতা হিমাঙ্ক থেকে $\frac{100}{180}(f-32)$ °C উর্ধ্বে।

$$\therefore \quad c = \frac{100}{180}(f-32) \qquad \ldots \quad (ii)$$

(i) ও (ii) একত্রে

$$\frac{c}{100} = \frac{f-32}{180} = \frac{r}{80} \qquad \ldots\ldots (iii)$$

বা

$$\frac{c}{5} = \frac{f-32}{9} = \frac{r}{4} \qquad \ldots\ldots (iv)$$

1.9 সিক্সের গরিষ্ঠ ও লঘিষ্ঠ থার্মোমিটার
(Six's Maximun-Minimum thermometer)

এই বিশেষ স্বয়ংক্রিয় থার্মোমিটারের সাহায্যে বায়ুর সারাদিনের সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন উষ্ণতা মাপা হয়। এতে পারদ ও অ্যালকোহল দুই-ই ব্যবহৃত হয়। 7নং চিত্রে ম্যাক্সিমাম মিনিমাম থার্মোমিটারের রূপ দেওয়া হল।

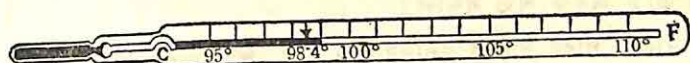
B হল একটি বাল্ব, তার সঙ্গে একটি U-নল CD যুক্ত। বাল্বটি সম্পূর্ণ এবং U-নলের কিছুটা অ্যালকোহলে ভর্তি, আর CD অংশ (ছবিতে U-নলের নিচের দিকের কালো অংশ) পারদে পূর্ণ থাকে। C-এর উপর অংশ আবার অ্যালকোহলে পূর্ণ। স্ফীতকায় শেষ অংশ A-তে অ্যালকোহলের বাষ্প আছে। তাপমাত্রা নির্দেশ করার জন্য স্প্রিং-যুক্ত দুটো ইস্পাত-সূচক (পর পৃষ্ঠায় বড় করে দেখানো) পারদস্তম্ভের উভয় দিকে রাখা হয়। এবং থার্মোমিটার ব্যবহারের পূর্বে সেগুলো চুম্বক দিয়ে পারদের সংস্পর্শে আনা হয়।

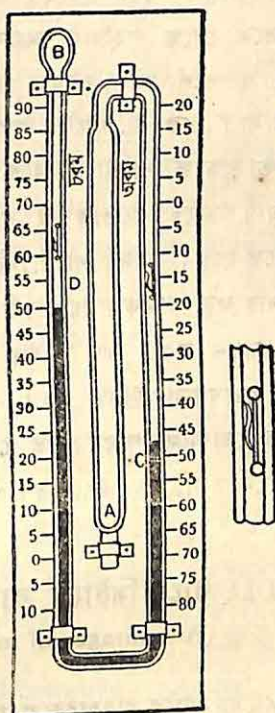
বায়ুর উষ্ণতা বাড়লে B বাল্বের অ্যালকোহল প্রসারিত হয়ে চাপ দিয়ে পারদকে নিচে ঠেলে দেয়। কিন্তু এদিকের সূচক স্প্রিং-এর জোরে সেখানে থেকে যায়। এদিকে চাপের ফলে ডান নলে পারদের উচ্চতা বাড়ে এবং ওদিকের সূচক উপরে উঠে যায়। দুই সূচকের নিম্নাংশ কোথায় আছে তা থেকে সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন তাপমাত্রা জানতে পারা যায়।

চিত্র 7

1.10 ডাক্তারি বা ক্লিনিক্যাল থার্মোমিটার (Doctor's clinical thermometer)

আমাদের শরীরের উষ্ণতা মাপার জন্য ডাক্তারেরা যে থার্মোমিটার ব্যবহার করেন তার নাম ক্লিনিক্যাল থার্মোমিটার। এর বাল্ব সাধারণ থার্মোমিটারের চেয়ে ছোট এবং বালবের কাচও খুব পাতলা। এতে শরীরের তাপ যত তাড়াতাড়ি সম্ভব বালবের পারদে সঞ্চারিত হয়। এই থার্মোমিটারে (চিত্র 8) ফারেনহিট স্কেল অনুযায়ী 95° ডিগ্রি থেকে 110° ডিগ্রি পর্যন্ত দাগ কাটা থাকে। কারণ দেহের তাপমাত্রা এরই মধ্যে ওঠা-নামা করে। 98·4° ডিগ্রির কাছাকাছি একটা বিশেষ চিহ্নিত দাগ দেওয়া থাকে।

চিত্র 8

এই হল সুস্থ ও স্বাভাবিক দেহের উষ্ণতা। থার্মোমিটারের বাল্ব সুস্থ লোকের বগলে চেপে ধরলে পারাচিহ্নিত স্থান 98·4° ডিগ্রি পর্যন্ত পৌঁছয়। পারদস্তম্ভ এই চিহ্নকে অতিক্রম করলে জ্বর হয়েছে বোঝা যায়।

ডাক্তারি থার্মোমিটারের আর একটি বৈশিষ্ট্য হল যে, ভিতরের সরু নলটি

বাল্‌বের কাছে বেশ একটু সংকুচিত এবং এক জায়গায় একটু খাঁজ (constriction) আছে। ফলে দেহের উষ্ণতা অনুসারে পারদ সংকুচিত স্থান দিয়ে আয়তনে বেড়ে সহজেই অগ্রসর হয়, কিন্তু দেহের বাইরে আনলে ঠাণ্ডা বায়ুর সংস্পর্শে আসা সত্ত্বেও পারদস্তম্ভ সংকুচিত হয়ে বাল্‌বে ফিরে যেতে পারে না। কেননা, খাঁজের কাছে ওর যোগসূত্র ছিন্ন হয়ে যায়। দেহের উষ্ণতা কত তা পড়তে থার্মোমিটারকে বগল থেকে বাইরে আনলেও কোন অসুবিধা হয় না। তবে প্রত্যেকবার ব্যবহার করার আগে পারদ বাল্‌বে ফিরিয়ে আনতে হবে। এজন্য থার্মোমিটারকে ঝাঁকিয়ে নিতে হয়। উষ্ণতা মাপার সুবিধার জন্য অনেক সময় থার্মোমিটারের পেছনটা সাদা রঙ করা থাকে।

শোধন করার জন্য বা অন্য কোন কারণে এই থার্মোমিটারকে কখন ফুটন্ত জলে ডোবানো উচিত নয়। কেননা ফুটন্ত জলের উষ্ণতা 212°F, এবং তাতে ডোবালে পারদ এত বেশি প্রসারিত হতে চাইবে যে, থার্মমিটার ফেটে যেতে পারে। বিশোধক ঔষধের সাহায্যে একে শোধন করা উচিত।

1.11 থার্মোমিটারে ব্যবহার্যরূপে পারদের গুণাবলী
(Advantages of mercury as a thermometric substance)

থার্মোমিটারে ব্যবহার্যরূপে পারদের অনেকগুলি সুবিধা আছে। যথা:

(i) পারদ −39°C উষ্ণতায় জমে কঠিন হয় এবং 357°C-এ ফুটতে শুরু করে। কাজেই উষ্ণতা মাপার কাজে পারদকে ব্যাপক এলাকায় ব্যবহার করা চলে।

(ii) সামান্য উষ্ণতা ভেদে পারদের প্রসারণ লক্ষণীয়। তা ছাড়া, এই প্রসারণমাত্রা বিভিন্ন উষ্ণতায় প্রায় ধ্রুবক। ফলে স্কেলের সম-অবকাশে উষ্ণতার অবকাশও সমান।

(iii) পারদ তাপের সুপরিবাহী। যে বস্তুর সংস্পর্শে আসে দ্রুত তার উষ্ণতা নিয়ে নেয়।

(iv) পারদ উজ্জ্বল ও অনচ্ছ; এজন্য কাচের ভিতরে সহজেই নজরে আসে। তা ছাড়া, কাচের গায়ে আটকে ধরে না।

(v) পারদকে সহজেই বিশুদ্ধ করা চলে। কম উদ্বায়ী বলে পারদের বাষ্পীয় চাপও কম।

1.12 কয়েকটি বিশিষ্ট উষ্ণতা (Some important temperatures)

উচ্চ উষ্ণতা (High temperature)

জলের স্ফুটনাঙ্ক	= 100°C	প্লাটিনামের গলনাঙ্ক	= 1760°C
টিনের গলনাঙ্ক	= 232°C	টাংস্টেনের গলনাঙ্ক	= 3400°C
গন্ধকের স্ফুটনাঙ্ক	= 444.6°C	সূর্যের বাইরের উষ্ণতা	= 6000°C
রূপোর গলনাঙ্ক	= 960°C	সূর্যের অভ্যন্তরের উষ্ণতা	= 2 কোটি °C
সোনার গলনাঙ্ক	= 063°C	উচ্চ উষ্ণতার কোন উর্ধ্ব সীমারেখা নেই।	

নিম্ন উষ্ণতা (Low temperature)

হিমাঙ্ক	= 0°C	তরল অক্সিজেন	= −183°C
হিমমিশ্রণ	= −17°C	তরল হাইড্রোজেন	= −253°C
পারদের কঠিনীভবন	= −39°C	তরল হিলিয়ম	= −269°C
শুকনো বরফ (কঠিন CO_2)	= −78°C	চরম শূন্য	= −273°C

চরম শূন্যের চেয়ে কম উষ্ণতা সম্ভব নয়। এই হল উষ্ণতার নিম্ন সীমারেখা।

1.13 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা 1. রেমার থর্মোমিটারে পাঠ যখন 40° তখন সেলসিয়াস ও ফারেনহিটের পাঠ কত ?

ধর, সেলসিয়াসের পাঠ C°, ফারেনহিটের পাঠ F° ;

$$\therefore \frac{C}{100} = \frac{F-32}{180} = \frac{40}{80}$$

$$\therefore C = \frac{40}{80} \times 100 = 50^\circ$$

এবং $F - 32 = \frac{40}{80} \times 180 = 90 \quad \therefore F = 90 + 32 = 122^\circ$

উদা. 2. কোন্ উষ্ণতায় সেলসিয়াস ও ফারেনহিট একই পাঠ দেখাবে ?

ধর x°C = x°F। অতএব প্রশ্নানুসারে,

$$\frac{x}{100} = \frac{x-32}{180^\circ}$$

$\therefore \quad 180x = 100x - 32 \times 100 \quad \therefore \quad 80x = -32 \times 100$

$$\therefore \quad x = \frac{-32 \times 100}{80} = -40$$

$$\therefore \quad -40°C = -40°F$$

উদা. 3. একটি ত্রুটিপূর্ণ থার্মোমিটার (সেলসিয়াস) দুই স্থিরাঙ্কে যথাক্রমে +0·5 এবং 100·8 পাঠ দেয়। এই থার্মোমিটারের পাঠ যখন 20 তখন প্রকৃত উষ্ণতা কত ? **(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1960)**

ধর, সেলসিয়াস স্কেলে প্রকৃত উষ্ণতা C।

$$\therefore \quad \frac{C}{100} = \frac{20-(0·5)}{100·8-0·5} = \frac{19·5}{100·3}$$

$$\therefore \quad C = \frac{19·5}{100·3} \times 100 = 19·4° \text{ (প্রায়)}$$

উদা. 4. যদি কোন থার্মোমিটারে ঊর্ধ্ব ও নিম্ন স্থিরাঙ্ক যথাক্রমে 20° ও 140° মার্কা দেওয়া হয় তা হলে 92°F উষ্ণতা ঐ থার্মোমিটারে কত পাঠ দেবে? **(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1962)**

ধর, নির্ণেয় পাঠ $= x$

$$\therefore \quad \frac{x-20}{140-20} = \frac{92-32}{212-32} = \frac{60}{180}$$

বা, $\dfrac{x-20}{120} = \dfrac{60}{180} \quad \therefore \quad x-20 = \dfrac{60 \times 120}{180} = 40$

$$\therefore \quad x = 40 + 20 = 60°$$

উদা 5. একটি থার্মোমিটারের দুই স্থিরাঙ্কের নির্ভুলতা পরীক্ষা করতে গিয়ে দেখা গেল, গলন্ত বরফে পাঠ 0·5°C এবং প্রমাণ চাপে জলের স্ফুটনাঙ্কে পাঠ 99·2°C ; যখন থার্মোমিটারের পাঠ 15° তখন প্রকৃত উষ্ণতা কত ? কোন্ উষ্ণতায় এই থার্মোমিটার নির্ভুল পাঠ দেখাবে ?

ধর, থার্মোমিটারে 15° পাঠের সময় প্রকৃত উষ্ণতা $= x$°C

$$\therefore \quad \frac{x}{100} = \frac{15-0·5}{99·2-0·5} = \frac{14·5}{98·7}$$

$$\therefore \quad x = \frac{14·5}{98·7} \times 100 = 14·69°C$$

আবার ধর, $x°C = x°$ (আলোচ্য থার্মোমিটারে)

$\therefore \frac{x}{100} = \frac{x - 0.5}{99.2 - 0.5}$ বা, $\frac{x}{100} = \frac{x - 0.5}{98.7}$

$\therefore 98.7x = 100x - 50$ বা $1.3x = 50$ $\therefore x = 38.46°$

অনুশীলনী

1. উষ্ণতা বলতে কি বোঝ? তাপ ও উষ্ণতায় কি পার্থক্য?

2. তাপের ফলে পদার্থের কি কি পরিবর্তন ঘটে? উদাহরণ-সহ প্রতিটি ব্যাখ্যা কর।

3. স্পর্শের সাহায্যে উষ্ণতার পরিমাপ সঠিক হয় না—একটি পরীক্ষার উল্লেখ করে এ কথার সত্যতা প্রমাণ কর।

4. থার্মোমিটার বলতে কি বোঝায়? এর মূল সূত্র কি?

5. সংক্ষেপে একটি পারদ ও একটি অ্যালকোহল থার্মোমিটার বর্ণনা কর।

6. উষ্ণতার বিভিন্ন স্কেলের পরিচয় দাও। স্কেলগুলোর পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় কর।

7. থার্মোমিটারে ব্যবহার্য পদার্থরূপে পারদের সুবিধাগুলো কি কি?

8. ম্যাক্সিমাম-মিনিমাম থার্মোমিটার কি? এই থার্মোমিটারের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

9. ডাক্তারি থার্মোমিটার কাকে বলে? এই থার্মোমিটারের বৈশিষ্ট্য কি? চিত্রসহ বর্ণনা কর।

10. নিম্ন ও ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক বলতে কি বোঝায়? ঊর্ধ্ব স্থিরাঙ্কেরও ঊর্ধ্বে কয়েকটি স্থিরাঙ্কের উল্লেখ কর।

11 কয়েকটি উচ্চ ও নিম্ন উষ্ণতার পরিচয় দাও। বিশ্বে উষ্ণতার ঊর্ধ্ব ও নিম্নসীমা কি কি?

12. 0°F-কে সেন্টিগ্রেড স্কেলে প্রকাশ কর। [−17·8°C]

13. মানুষের রক্তের স্বাভাবিক উষ্ণতা 98·4°F; সেন্টিগ্রেড ও রেমার স্কেলে ঐ উষ্ণতার পাঠ কত হবে? (**পঃ বঃ উঃ মাঃ 1968**)

[36·9°C ; 29·5°R]

14. দুই স্থিরাঙ্কের ঠিক মধ্যবর্তী বিন্দুতে সেন্টিগ্রেড ও ফারেনহিট স্কেলে কি কি পাঠ দেখাবে? (**কঃ বিঃ 1956**) [50°C ; 122°F]

15. কোন্ উষ্ণতায় সেলসিয়াস ও ফারেনহিট থার্মোমিটার একই পাঠ দেখাবে ? (পঃ বঃ উঃ মাঃ 1963) [−40°]

16. 25°C-এ কত ডিগ্রি ফারেনহিট ? (পঃ বঃ উঃ মাঃ 1964) [77°F]

17. কোন বস্তুর উষ্ণতা 25°C বাড়লো। উষ্ণতা কত ডিগ্রি ফারেনহিট বৃদ্ধি পেল ? (পঃ বঃ উঃ মাঃ 1964) [45°F]

18. অংশাঙ্কনহীন কিন্তু সর্বত্র সমান সূক্ষ্ম নলযুক্ত একটি থার্মোমিটারের সঙ্গে একটি সেন্টিমিটার স্কেল যুক্ত আছে। দেখা গেল যে, গলন্ত বরফে থার্মোমিটারের পাঠ 7·3 সেমি. বাষ্পে 23·8 সেমি. এবং হিমমিশ্রণে 3·5 সেমি। হিমমিশ্রণের উষ্ণতা কত ? (উৎকল, 1958) [−23°C প্রায়]

19. একটি ত্রুটিপূর্ণ থার্মোমিটার গলন্ত বরফে 5°C এবং স্বাভাবিক চাপে শুকনো বাষ্পে 99°C পাঠ দেখায়। থার্মোমিটারের পাঠ যখন 52°C তখন প্রকৃত উষ্ণতা ফারেনহিট স্কেলে কত হবে ? (পাটনা, 1951) [122°F]

20. একটি নির্ভুল সেলসিয়াস থার্মোমিটার ও একটি ফারেনহিট থার্মোমিটারকে যখন কোন তরলের উষ্ণতা মাপতে ব্যবহার করা হল তখন ওদের পাঠ হল যথাক্রমে 60° ও 141° ; ফারেনহিট থার্মোমিটারের পাঠে ভুলের পরিমাণ কত ? [1°F]

21. কোন্ উষ্ণতায় ফারেনহিট ডিগ্রির পাঠ সেন্টিগ্রেড ডিগ্রির পাঠের পাঁচ গুণ হবে ? (পঃ বঃ উঃ মাঃ 1963) [10°C বা 50°F]

22. একই উষ্ণতা সেন্টিগ্রেড ও ফারেনহিট থার্মোমিটারে পাঠ করে 56° তফাৎ হল। প্রত্যেক থার্মোমিটার কত ডিগ্রি পাঠ দিল ? [30°C এবং 86°F]

23. একটি পারদ থার্মোমিটারে মিলিমিটারের দাগ কাটা স্কেল আছে এবং দুটি প্রমাণ স্থিরাঙ্কে যথাক্রমে 10·6 মিমি. এবং 208·6 মিমি. পাঠ দেয়। 72°F উষ্ণতায় ঐ থার্মোমিটার কত পাঠ দেবে ? [54·6 মিমি.]

———

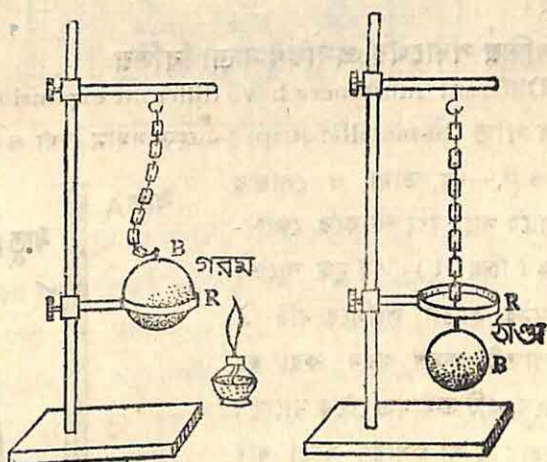
2 কঠিনের তাপীয় প্রসারণ

দ্বিতীয় অধ্যায় (Thermal Expansion of Solids)

কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় প্রায় সব পদার্থই তাপ দিলে প্রসারিত হয় এবং তাপ নিয়ে নিলে সংকুচিত হয়। এই তাপীয় প্রসারণ-সংকোচন গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে সবচেয়ে বেশি, তরলে কম, কঠিন পদার্থে আরও কম, তাপে কঠিন পদার্থ দৈর্ঘ্য, প্রস্থ, উচ্চতা সব দিকেই প্রসারিত হয় অর্থাৎ আয়তনের প্রসারণ ঘটে। তরল ও গ্যাসের ক্ষেত্রে দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা বলে স্পষ্ট কিছু না থাকায় সামগ্রিক আয়তন-প্রসারণই লক্ষণীয়।

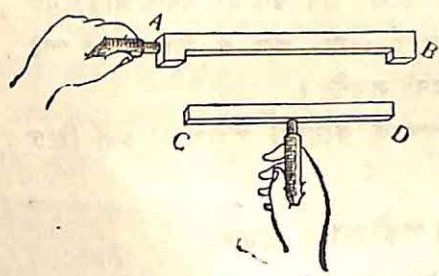
কঠিন পদার্থের তাপীয় প্রসারণ সম্পর্কে কয়েকটি পরীক্ষার কথা নিচে বলা হল।

2.1 কঠিনের প্রসারণঃ সরল পরীক্ষা ও প্রদর্শন
(Expansion of Solids : Simple demonstrations)

বল ও আংটার পরীক্ষাঃ তাপে কঠিনের প্রসারণ গ্রেভস্যাণ্ডের বল ও আংটার পরীক্ষায় **(ball and ring experiment)** সুন্দর দেখান যায়।

চিত্র 9

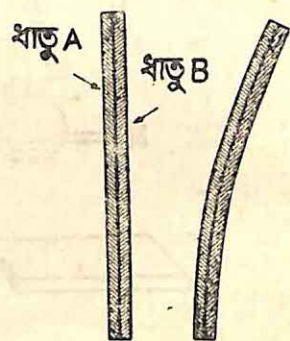
একটা ছোট পিতলের বল B নাও (চিত্র 9)। শিকলের সাহায্যে বলটি

একটা স্ট্যাণ্ডে লাগানো হুক থেকে ঝুলিয়ে দাও। স্ট্যাণ্ডের নিচের দিকে একটা আংটা R আটকানো আছে। আংটার মাপ এমন যে, ঠাণ্ডা অবস্থায় বলটি আংটা দিয়ে ঠিক গলে যায়। এবার বার্নারের সাহায্যে বলটি বেশ গরম করে আংটার ভিতর দিয়ে গলানোর চেষ্টা কর। দেখ, বলটি আর আংটা দিয়ে গলছে না। কেন? তাপের ফলে বলের আয়তন বেড়ে গেছে। কিছুক্ষণ বলটি ঠাণ্ডা হতে দাও। দেখ, বলটি আবার আংটা দিয়ে গলে গেল।

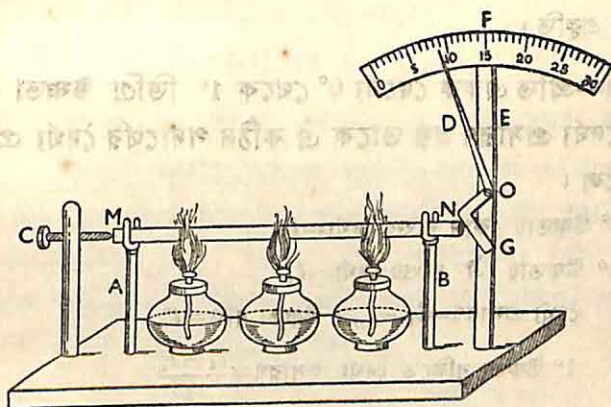
দণ্ড ও গজের পরীক্ষা (Bar and gauge experiment) : AB একটা খাঁজকাটা ধাতব গজ বা প্লেট। CD একটি কাঠের হাতলযুক্ত লোহার দণ্ড। দণ্ডটি ঠাণ্ডা অবস্থায় গজের খাঁজে ঠিক ঠিক এঁটে যায় (চিত্র 10)। এবার CD-কে গরম কর এবং খাঁজে বসাও। দেখ, দণ্ডটি কিছুতেই খাঁজে বসছে না। ঠাণ্ডা করে আবার বসাও। এবার ঠিক বসে গেল। প্রমাণ হল : তাপে CD-দণ্ডের প্রসারণ ঘটেছে।

চিত্র 10

2.2 বিভিন্ন পদার্থের প্রসারণ মাত্রা বিভিন্ন

(Different substances have different expansion)

দ্বি-ধাতব পাত (bi-metallic strip) : এতে সমান দৈর্ঘ্য ও প্রস্থের দুটি ধাতু পাত A ও B,—ধর, তামা ও লোহার —এক সঙ্গে গায়ে গায়ে রিভেট করে জোড়া-লাগানো থাকে (চিত্র 11)। এই যুগ্ম পাতের এক প্রান্তে কাঠের হাতল লাগিয়ে যদি ঐ হাতল ধরে পাতটি ক্রমশ গরম করা হয় তবে, দেখা যাবে, এটি ক্রমাগত বেঁকে যাচ্ছে। তামা ও লোহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ মাত্রা যদি সমান হত তবে যত গরমই করা হোক পাতটি সোজাই থাকতো। কিন্তু দৈর্ঘ্য প্রসারণ মাত্রা ভিন্ন বলে উত্তপ্ত অবস্থায় ধাতু দুটির দৈর্ঘ্য অসমান হয়ে পড়ছে। অথচ

চিত্র 11

রিভেট করা বলে বিচ্ছিন্ন হওয়া সম্ভব নয়। কাজেই যুগ্মপাতটি বেঁকে যাচ্ছে। বক্রতার দিক এমন যে, যার প্রসারণ বেশি সে থাকবে বাইরের দিকে। তামা ও লোহার ক্ষেত্রে তামা বাইরের দিকে থাকে। অর্থাৎ তামার প্রসারণ লোহার তুলনায় বেশি (সম পরিমাণ উষ্ণতা বৃদ্ধিতে)।

ফার্গুসনের পরীক্ষা (Ferguson's experiment) : যন্ত্রটিতে খাঁজ-কাটা দুটি মোটা স্তম্ভ (A, B) আছে। স্তম্ভ দুটির উপর একটা লম্বা ধাতব দণ্ড MN অনুভূমিক অবস্থায় রাখা আছে। দণ্ডের M প্রান্তে একটি স্ক্রু এবং বিপরীত প্রান্তে একটি সূচক (pointer) D। সূচকটি একটি দণ্ড EG-র সঙ্গে O বিন্দুতে লিভারের মতো আটকানো। ছোট বাহুর প্রান্তে ওজন লাগানো এবং লম্বা-বাহুটি একটি স্থির স্কেল F বেয়ে চলাচল করতে পারে (চিত্র 12)।

চিত্র 12

দণ্ডটি স্তম্ভের উপর অনুভূমিক বসিয়ে প্রথমে স্ক্রু ঘুরিয়ে এমনভাবে রাখ যেন N প্রান্তের চাপে সূচকটি স্কেলের শূন্য দাগে আসে। এবার বার্নারে দণ্ডটি গরম করতে থাক এবং দেখ, সূচক ধীরে ধীরে স্কেলের ডান দিকে সরছে। এর কারণ, তাপে প্রসারিত হয়ে দণ্ডটি সূচককে চাপ দিচ্ছে এবং ফলে সূচক ঐ রকম গতি পাচ্ছে। সূচক যত দূর সরলো তা থেকে দণ্ডের কত প্রসারণ ঘটল তা বোঝা গেল।

সমান দৈর্ঘ্যের বিভিন্ন দণ্ড নিয়ে তাদের সমান উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে দেখা যায়, বিভিন্ন ধাতুর ক্ষেত্রে সূচক বিভিন্ন দাগ অবধি সরছে। প্রমাণ হল, **বিভিন্ন ধাতুর দৈর্ঘ্য প্রসারণ বিভিন্ন।**

2.3 কঠিনের প্রসারণ গুণাঙ্ক
(Co-efficient of expansion of solids)

তাপে কঠিন পদার্থের তিন রকম প্রসারণ হতে পারে : (i) দৈর্ঘ্যের প্রসারণ (**linear expansion**), (ii) **ক্ষেত্রফলের** প্রসারণ (**superficial expansion**) এবং (iii) **আয়তনের** প্রসারণ (**cubical expansion**)। এই কারণে, কঠিনের প্রসারণ গুণাঙ্ক-ও তিনটি—দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক, ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক ও আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক।

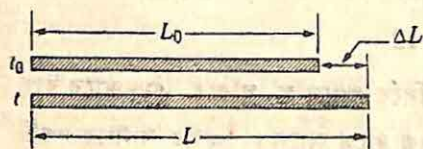
দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of linear expansion) : কঠিনের মোট দৈর্ঘ্য প্রসারণ তিনটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে—(i) প্রাথমিক দৈর্ঘ্য, (ii) প্রাথমিক ও শেষ উষ্ণতার পার্থক্য এবং (iii) কঠিনের উপাদানের প্রকৃতি।

সংজ্ঞা—প্রতি একক দৈর্ঘ্যে 0° থেকে 1° ডিগ্রি উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যে দৈর্ঘ্য প্রসারণ হয় তাকে ঐ কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

ধর, 0° উষ্ণতায় কোন দণ্ডের দৈর্ঘ্য $=l_o$

t^o উষ্ণতায় ঐ দণ্ডের দৈর্ঘ্য $=l_t$

$\therefore$ দৈর্ঘ্য প্রসারণ $=l_t-l_o$; উষ্ণতা বৃদ্ধি $=t^o$

$\therefore$ 1° উষ্ণতা বৃদ্ধিতে দৈর্ঘ্য প্রসারণ $=\dfrac{l_t-l_o}{t}$

$\therefore$ প্রতি একক দৈর্ঘ্যে 1° উষ্ণতা বৃদ্ধিতে প্রসারণ $=\dfrac{l_t-l_o}{l_o t}=\dfrac{\triangle l}{l_o}$

চিত্র 13

$\therefore$ সুতরাং সংজ্ঞানুসারে, **দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক** $\alpha=\dfrac{l_t-l_o}{l_o t}$ ... (i)

$$\therefore \alpha=\frac{\text{দৈর্ঘ্য প্রসারণ}}{0^\circ \text{ তে প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$$

সমীকরণ (i) থেকে : $l_t-l_o=l_o t\alpha$

বা, $l_t=l_o(1+\alpha t)$

প্রাথমিক দৈর্ঘ্য সর্বদা 0° উষ্ণতায় রাখা অসুবিধাজনক। এ কারণে, যে কোন দুই উষ্ণতায় প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

ধর, $t_1°$ ও $t_2°$ উষ্ণতায় কোন দণ্ডের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_1 ও l_2 এবং $t_2 > t_1$.

∴ দৈর্ঘ্য প্রসারণ $= l_2 - l_1$; উষ্ণতা বৃদ্ধি $= t_2 - t_1$

∴ 1° উষ্ণতা বৃদ্ধিতে দৈর্ঘ্য প্রসারণ $= \frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1}$

∴ প্রতি একক দৈর্ঘ্যে 1° উষ্ণতা বৃদ্ধিতে দৈর্ঘ্য প্রসারণ বা **প্রসারণ গুণাঙ্ক** $\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} = \frac{\text{দৈর্ঘ্য প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$ ...(ii)

∴ $l_2 - l_1 = l_1 \alpha (t_2 - t_1)$

বা, $l_2 = l_1\{1 + \alpha (t_2 - t_1)\}$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্কের যে সংজ্ঞা দেওয়া হল তাকে **গড় দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক (Mean linear co-efficient of expansion)** বলে। আর প্রথম ক্ষেত্রের সংজ্ঞাটিকে **শূন্য দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক** (zero **linear co-efficient**) বলে। উষ্ণতা বৃদ্ধির পরিমাণ খুব বেশি না হলে দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্কের এই দুই মানে কোন তফাৎ নেই বললেই চলে, যদিও শূন্য প্রসারণ গুণাঙ্কই **প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক**।

লক্ষ্য কর : দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক দুটি দৈর্ঘ্যের অনুপাত হওয়ায়, **দৈর্ঘ্যের এককের উপর গুণাঙ্ক নির্ভর করে না।** **কিন্তু** হরে উষ্ণতা-বৃদ্ধির অস্তিত্ব থাকায় **উষ্ণতার এককের উপর নির্ভর করে।** সাধারণত ডিগ্রি সেন্টিগ্রেডে α প্রকাশ করা হয়। তবে ডিগ্রি ফারেনহিটেও প্রকাশ করা চলে। যেহেতু 1°C=9/5°F, কাজেই ফারেনহিট স্কেলে α-র মান=সেন্টিগ্রেড স্কেলের মান×5/9 অর্থাৎ $\alpha_f = \frac{5}{9}\alpha_c$.

লোহার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক ·000012/°C—একথার অর্থ কি? উক্তিটির অর্থ হল 1 সেমি বা 1 ফুট বা 1 গজ লম্বা লোহার দণ্ডকে 1° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা বাড়ালে ওর দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি ঘটবে 0·000012 সেমি বা 0·000012 ফুট বা 0·000012 গজ। ঐ প্রসারণ গুণাঙ্ক ফারেনহিটে প্রকাশ করলে কত হবে? উত্তর : ·000012×5/9 বা ·0000067 /°F.

2.4 কয়েকটি কঠিনের প্রসারণ গুণাঙ্ক (/°C)
(Values of α for some solids)

পিতল	=0·0000189	ইস্পাত	=0·0000110
তামা	=0·0000167	প্লাটিনাম	=0·0000089
নিকেল	=0·0000130	কাচ	=0·0000089
লোহা	=0·0000117	ইনভার	=0 0000009

2.5 ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক
(Co-efficient of superficial expansion)

সংজ্ঞা—প্রতি একক ক্ষেত্রফলে 0° থেকে 1° ডিগ্রি উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য যে ক্ষেত্র-প্রসারণ হয় তাকে ঐ কঠিনের ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

ধর, 0° উষ্ণতায় কঠিনের কোন তলের ক্ষেত্রফল $= S_o$; $t°$ উষ্ণতায় ঐ ক্ষেত্রফল $= S_t$

$\therefore$ ক্ষেত্র প্রসারণ $= S_t - S_o$; উষ্ণতা বৃদ্ধি $= t°$

$\therefore$ 1° উষ্ণতা বৃদ্ধিতে ক্ষেত্র-প্রসারণ $= \dfrac{S \;\; - S_o}{t}$

$\therefore$ 1° উষ্ণতা বৃদ্ধিতে একক ক্ষেত্রফলের ক্ষেত্র-প্রসারণ $= \dfrac{S_t - S_o}{S_0 t}$

সংজ্ঞানুসারে, এই হল ঐ কঠিনের **ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক** β.

$$\therefore \quad \beta = \frac{S_t - S_o}{S_o t}$$

$$\therefore \quad \beta = \frac{\text{ক্ষেত্র প্রসারণ}}{0° \text{ তে প্রাথমিক ক্ষেত্রফল} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}} \qquad \text{(iii)}$$

$$\therefore \quad S_t - S_o = S_0 \beta t$$

$$\therefore \quad S_t = S_o \, (1 + \beta t)$$

উপরের সংজ্ঞাকে **শূন্য ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক** (Zero co-efficient of superficial expansion) বলে।

এক্ষেত্রেও, প্রাথমিক উষ্ণতা 0°-র বদলে যে কোন মানে রেখে **গড় ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক** (Mean co-efficient of superficial expansion) বের করা যায় এবং দুই গুণাঙ্কের মানের বিশেষ হেরফের হয় না।

$$\therefore \beta = \frac{\text{ক্ষেত্র প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক ক্ষেত্রফল} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}} = \frac{S_2 - S_1}{S_1(t_2 - t_1)} \quad \cdots \text{(iv)}$$

$S_1 = t_1°$-তে প্রাথমিক ক্ষেত্রফল, $S_2 = t_2°$-তে ঐ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল। $t_2 > t_1$;

সমীকরণ (iv) থেকে : $S_2 - S_1 = S_1\beta(t_2 - t_1)$

বা, $S_2 = S_1\{1 + \beta(t_2 - t_1)\}$

লক্ষ্য কর : **ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক ক্ষেত্রফলের এককের উপর নির্ভর করে না। কিন্তু উষ্ণতার এককের উপর নির্ভর করে।** আগের মতোই, $\beta_f = \frac{5}{9}\beta_c$। লোহার ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক 0·000024/°C বলতে বুঝায় 1°C উষ্ণতা বাড়ালে 1 বর্গ সেমি. লোহার পাত 1·000024 বর্গ সেমি. হয়ে যায়।

2.6 আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক

(Co-efficient of cubical expansion)

সংজ্ঞা : প্রতি একক আয়তনে 0° থেকে 1° উষ্ণতা বৃদ্ধিতে যে আয়তন-প্রসারণ হয় তাকে ঐ কঠিনের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

ধর, 0° উষ্ণতায় কোন কঠিনের আয়তন $= V_o$

$t°$ উষ্ণতায় ঐ কঠিনের আয়তন $= V_t$

$\therefore$ আয়তন প্রসারণ $= V_t - V_o$; উষ্ণতা বৃদ্ধি $= t°$

$\therefore$ 1° উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে আয়তন-প্রসারণ $= \dfrac{V_t - V_o}{t}$

$\therefore$ 1° উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে একক আয়তনে আয়তন-প্রসারণ $= \dfrac{V_t - V_0}{V_0 t}$

সংজ্ঞানুসারে, এই হল আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক, γ. অতএব,

আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক $\gamma = \dfrac{V_t - V_0}{V_0 t}$

$$\therefore \gamma = \frac{\text{আয়তন প্রসারণ}}{0°\text{-তে প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}} \quad \cdots \text{(v)}$$

সমীকরণ (v) থেকে : $V_t - V_o = V_o\gamma t$

$\therefore V_t = V_o(1 + \gamma t)$

আগের মতোই, যদি প্রাথমিক উষ্ণতা $t_1{}^o$ এবং চূড়ান্ত উষ্ণতা $t_2{}^o$ হয় এবং ঐ উষ্ণতাদ্বয়ে আয়তন যথাক্রমে V_1, V_2 হয় তবে,

গড় আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক $= \dfrac{\text{আয়তন প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$

$$\therefore \quad \gamma = \frac{V_2 - V_1}{V_1 \times (t_2 - t_1)} \quad \ldots \quad \text{(vi)}$$

$$\therefore \quad V_2 - V_1 = V_1 \gamma (t_2 - t_1)$$

বা, $$V_2 = V_1\{1 + \gamma (t_2 - t_1)\}$$

লক্ষ্য কর : আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক আয়তনের একেকের উপর নির্ভর করে না, কিন্তু উষ্ণতার এককের উপর নির্ভর করে। এবং $\gamma_f = \frac{5}{9}\gamma_c$. লোহার আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক ·000036/°C এ কথার অর্থ 1 সি. সি. একটি লোহার ঘনকের উষ্ণতা 1°C বাড়ালে ঐ ঘনকের আয়তন দাঁড়ায় 1·000036 সি. সি।

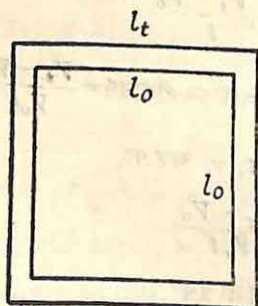
2.7 তিন প্রসারণ গুণাঙ্কের সম্পর্ক

(Relation beween the three co-efficients)

ধর, একটি সমসত্ত্ব ধাতব ঘনকের প্রত্যেক বাহু $= l_o$ এবং ঘনকের উষ্ণতা $= 0°$.

$\therefore \quad V_o = 0°$-তে ঘনকের আয়তন $= l_o{}^3$

$S_o = 0°$-তে ঘনকের প্রতি তলের ক্ষেত্রফল $= l_o{}^2$

এবারে, ধর ঘনকটিকে $t°$ উত্তপ্ত করা হল। এক্ষণে,

ঘনকের প্রত্যেক বাহু, $l_t = l_o(1 + \alpha t)$

ঘনকের প্রত্যেক তলের ক্ষেত্রফল,

$$S_t = \{l_o(1 + \alpha t)\}^2$$

ঘনকের আয়তন, $V_t = \{l_o(1 + \alpha t)\}^3$

$\therefore$ সংজ্ঞানুসারে, $\beta = \dfrac{S_t - S_o}{S_o t}$

$$= \frac{\{l_o(1 + \alpha t)\}^2 - l_o{}^2}{l_o{}^2 t}$$

l_t l_o l_o l_t

চিত্র 14

বা $$\beta = \frac{l_o{}^2(1 + 2\alpha t) - l_o{}^2}{l_o{}^2 t} = \frac{2 l_o{}^2 \alpha t}{l_o{}^2 t} = 2\alpha$$

আবার, সংজ্ঞানুসারে, $\gamma=\frac{v_t-v_o}{v_o t}=\frac{\{l_o(1+\alpha t)\}^3-l_o^3}{l_o^3 t}$

$$=\frac{l_o^3(1+3\alpha t+\cdots)-l_o^3}{l_o^3 t}$$

$$=\frac{3l_o^3\alpha t}{l_o^3 t}=3\alpha$$

α খুব ছোট বলে, উপরে সরলীকরণের ক্ষেত্রে α^2, α^3-ঘটিত পদগুলো উপেক্ষা করা হয়েছে।

$$\therefore\quad \beta=2\alpha;\quad \gamma=3\alpha \quad \text{বা} \quad \alpha=\beta/2=\gamma/3$$

ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক $=2\times$ দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক ;
আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক $=3\times$ দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক।

2.8 উষ্ণতার সঙ্গে ঘনাঙ্কের পরিবর্তন
(Change of density with temperature)

ঘনাঙ্ক হল একক আয়তনের ভর। যেহেতু পদার্থের আয়তন উষ্ণতার সঙ্গে পরিবর্তিত হয় কিন্তু ভর অপরিবর্তিত থাকে, সেহেতু উষ্ণতার সঙ্গে ঘনাঙ্কের পরিবর্তন ঘটে।

ধর, কোন বস্তুর ভর m ; t_1 °C-এ আয়তন ও ঘনাঙ্ক যথাক্রমে v_1 এবং ρ_1 ; এবং t_2 °C-এ আয়তন ও ঘনাঙ্ক v_2 ও ρ_2 ; $(t_2>t_1)$। অতএব সংজ্ঞানুসারে, $m=v_1\rho_1=v_2\rho_2=v_1\{1+\gamma(t_2-t_1)\}\rho_2$

এখানে $\gamma=$ আয়তন প্রসারণ ঘনাঙ্ক।

$$\therefore\quad \rho_2=\rho_1/\{1+\gamma\,(t_2-t_1)\}$$

$$=\rho_1\{1-\gamma\,(t_2-t_2)\},\ \text{যেহেতু } \gamma \text{ খুব ছোট।}$$

$$\therefore\quad \rho_2=\rho_1(1-\gamma t) \qquad (t=t_2-t_1)$$

2.9 দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of α)

দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয়ের একাধিক পদ্ধতি আছে। যেমন :

(i) **পুলিঞ্জারের পদ্ধতি (Pullinger's method)**, (ii) **আলোকীয় লিভার পদ্ধতি (Optical lever method)**, (iii) **চলমান অণুবীক্ষণ পদ্ধতি (Travelling microscope method).**

এখানে পদ্ধতিগুলির মধ্যে কেবল তৃতীয়টির আলোচনা করা হল। এর সাহায্যে খুব নির্ভুলভাবে দৈর্ঘ্যের সামান্য পরিবর্তনও মাপা চলে।

চলমান অণুবীক্ষণ পদ্ধতি : এই পদ্ধতিতে (চিত্র 15) পরীক্ষাধীন ফাঁপা নল বা দণ্ড AB-কে একটি জ্যাকেট নলে ঘিরে অনুভূমিকভাবে দুটি অবলম্বন C ও D উপরে রাখা হয়। E ও F জ্যাকেট নলের দুটি ছোট পার্শ্ব নল। ঐ পথে স্টীম বা ঠাণ্ডা জল পাঠানো হয়। T_1, T_2 দুটি থার্মোমিটার থেকে

চিত্র 15

জ্যাকেট নলের উষ্ণতা জানা যায়। AB র সমান্তরাল S একটি স্কেল। এটি H ও I—এই দুটি খাঁড়া দণ্ডের গায়ে অনুভূমিকভাবে লাগানো থাকে। J ও K দুটি চলমান অনুবীক্ষণ যন্ত্র—এদের সঙ্গে V_1, V_2 দুটি ভার্নিয়ার স্কেল যুক্ত থাকে। AB-র গায়ে দুটি সরু দাগ L ও M কাটা আছে।

প্রথম L ও M-এর দূরত্ব স্কেলের সাহায্যে নির্ভুলভাবে মাপ। দুই থার্মোমিটারের গড় পাঠ নিয়ে প্রাথমিক উষ্ণতা দেখে রাখ। এবারে অনুবীক্ষণ যন্ত্র দুটির সাহায্যে L ও M চিহ্নকে ফোকাস কর এবং ওদের প্রধান ও ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ নাও। এটি প্রাথমিক পাঠ। এবারে জ্যাকেট নলে স্টীম পাঠাও। দুই থার্মোমিটারের পারা স্থির অবস্থায় এলে ওদের গড় পাঠ নিয়ে চূড়ান্ত উষ্ণতা স্থির কর। সেই সঙ্গে অণুবীক্ষণ দুটি সরিয়ে আবার L ও M চিহ্নে ফোকাস করে আগের মতো ওদের প্রধান ও ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ নাও।

ধর, t_1 = প্রাথমিক উষ্ণতা, t_2 = চূড়ান্ত উষ্ণতা

x_1, x_2 = প্রথম অনুবীক্ষণের প্রাথমিক ও চূড়ান্ত পাঠ

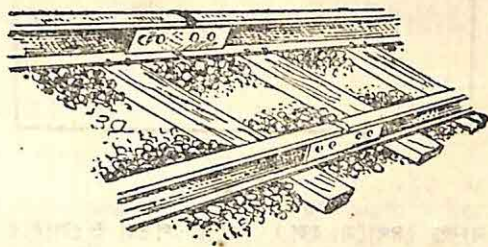
y_1, y_2 = দ্বিতীয় ” ” ”

l = L ও M এর অন্তর্বর্তী দূরত্ব

$$\therefore \alpha = \frac{(x_1 \sim y_1)+(x_2 \sim y_2)}{l(t_2-t_1)}$$

2.10 কঠিনের প্রসারণের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Applications of expansions of Solids)

শিল্পে এবং প্রাত্যহিক বহু কাজে কঠিনের তাপীয় প্রসারণের ব্যবহারিক প্রয়োগ লক্ষ্য করা যায়। এখানে তাদের কয়েকটি মাত্র উল্লেখ করা হল।

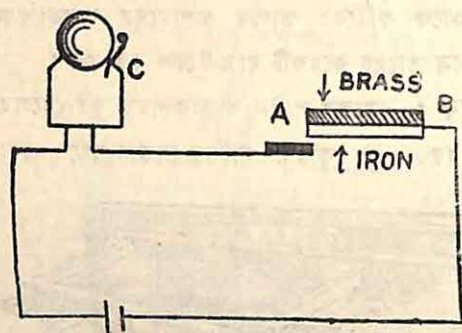
(i) **রেল লাইনের ফাঁক :** রেলের লাইন পাতার সময় দুই রেলের জোড়ের মুখে কিছু ফাঁক রাখা হয়। এর কারণ, গাড়ির চাকার ঘর্ষণে এবং সূর্যতাপে রেল প্রায়ই উত্তপ্ত হয়ে দৈর্ঘ্যে বেড়ে যায়। উপযুক্ত ফাঁক না রাখলে প্রসারণের দরুন পরস্পরকে ঠেলে বেঁকে যাওয়ার আশংকা থাকে। তাই রেল দুটো সরাসরি যুক্ত না করে দু-পাশে একটি করে লোহার পাত বা ফিসপ্লেট দিয়ে চারটি বোল্টের সাহায্যে আটকে দেওয়া হয় (চিত্র 16)। এতে সংকোচন-প্রসারণে আর অসুবিধা ঘটে না।

চিত্র 16

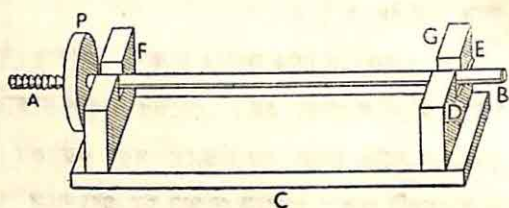
(ii) গরুর গাড়ির কাঠের চাকায় লোহার বেড় লাগানোর কাজে প্রসারণ ধর্মকে কাজে লাগানো হয়। বেড়ের পরিধি চাকার পরিধির চেয়ে কিছু ছোট। প্রথমে বেড়টির সর্বত্র সমানভাবে গরম করা হয়। উপযুক্ত গরমে প্রসারিত হলে বেড়টি চাকায় গলিয়ে দেওয়া হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে জল ঢেলে ঠাণ্ডা করা হয়। ফলে বেড়টি দৃঢ়ভাবে চাকাকে চেপে ধরে এবং গরমে কাঠও পুড়ে যেতে পারে না।

(iii) অনেক সময় কাচের শিশিতে ধাতব ঢাকনা এমন আটকে যায় যে, খোলা যায় না। এই অবস্থায় ঢাকনাটি একটু গরম কর। দেখ, এবার সহজেই ঢাকনা খুলে গেল। কাচ তাপের কুপরিবাহী ; ফলে কাচের আয়তন বৃদ্ধির আগেই ঢাকনা আয়তনে বেড়ে আলগা হয়ে যায়।

(iv) লোহার সেতু তৈরি করার সময় সেতুর দুই প্রান্ত কংক্রিট ও ইটের গাঁথুনি দিয়ে দৃঢ়ভাবে আটকানো হয় না। প্রান্তদেশে থাম আর অবলম্বনের মধ্যে রোলার বা চাকার সাহায্যে ফাঁক রাখা হয়। এর ফলে সেতুর প্রসারণের সুযোগ থাকে।

(v) ইলেকট্রিক ইস্ত্রিতে **দ্বিধাতব থার্মোস্টাট** লাগানো থাকে। একটা বিশেষ উষ্ণতায় পৌছলে পাত বেঁকে গিয়ে সার্কিট বন্ধ হয়ে যায়। ফলে ইস্ত্রি অসম্ভব গরম হয়ে উঠতে পারে না। একে বলে **স্বয়ংক্রিয় রিলে** ব্যবস্থা। বহু যন্ত্রে রিলে হিসাবে দ্বি-ধাতব পাতের ব্যবস্থা আছে।

চিত্র 17

পাশে 17নং চিত্রে অগ্নি-সংকেতের (**fire alarm**) কাজে ব্যবহৃত একটি রিলে ব্যবস্থা দেখানো হল। এতে পিতল ও লোহার যুগ্মদণ্ড থাকে। ঘরে আগুন লাগলে দণ্ড বেঁকে যায় এবং একটি তড়িৎ বর্তনী (**circuit**) সম্পূর্ণ হয়। তৎক্ষণাৎ সংকেত-ঘণ্টা বেজে ওঠে।

(**vi**) বাড়ীর দেওয়াল বাইরের দিকে বেঁকে গেলে লোহার তাপীয় প্রসারণ ও সংকোচন ধর্মকে কাজে লাগিয়ে সোজা করা হয়। দেয়ালের মধ্যে কতকগুলো লোহার-দণ্ড AB ঢুকিয়ে পাত P ও স্ক্রু A-র সাহায্যে শক্ত করে আটকে দেওয়া হয় (চিত্র 18)। দণ্ডগুলো গরম করে স্ক্রু-আরো জোরে এঁটে দেওয়া হয়। দণ্ডগুলো ঠাণ্ডা হলে সংকোচনের জন্য যে প্রচণ্ড বলের উদ্ভব হয় তা দেয়ালকে ঠেলে সোজা করে।

চিত্র 18

2.11 প্রতিবিহিত দোলক (Compensated pendulum)

দোলকের দোলনকাল তার দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। ঋতুভেদে উষ্ণতার তারতম্য অনুসারে ঐ দৈর্ঘ্য কখন হ্রাস পায়, কখনও বা বেড়ে যায়। কাজেই, দোলনকালেরও তারতম্য ঘটে; ঘড়ি 'স্লো-ফাস্ট' যায়। এই অসুবিধা দূর করার জন্য **প্রতিবিহিত দোলকের** ব্যবস্থা করা হয়।

দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য হল পিণ্ডের ভারকেন্দ্র ও যে বিন্দু থেকে দোলকটি ঝোলানো হয় তার দূরত্ব। যদি এই দৈর্ঘ্যকে অপরিবর্তিত রাখা যায় তা হলে ঘড়ি সঠিক সময় দেবে। প্রতিবিহিত দোলকে ঠিক তা-ই করা হয়। এজন্য দোলক পিণ্ডকে দুটি ভিন্ন ধাতুর দণ্ডের উপর বসানো হয়। এই দুই দণ্ডের দৈর্ঘ্য এমন যে, যে কোন উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য একের নিম্ন প্রসারণ অপরটির ঊর্ধ্ব প্রসারণের সমান।

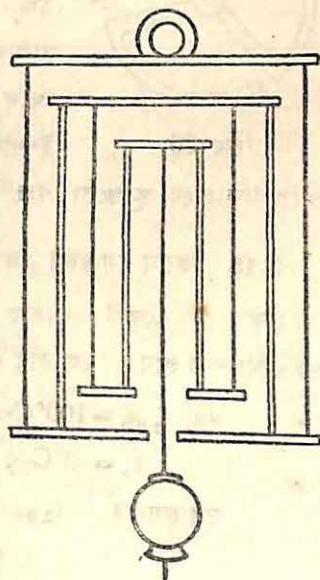
ধর, l ও l' দণ্ডদ্বয়ের দৈর্ঘ্য ; α ও α' যথাক্রমে ওদের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক। কাজেই t উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য প্রথমটির নিম্ন প্রসারণ $l\alpha t$, দ্বিতীয়টির ঊর্ধ্ব প্রসারণ $l'\alpha' t$

∴ **প্রতিবিহিত দোলকের শর্ত হল :** $l\alpha t = l'\alpha' t$

বা $l/l' = \alpha'/\alpha$ ......(iv)

হ্যারিসনের প্রতিবিহিত দোলকে (Harrison's grid iron **pendulum**) পাঁচটি ইস্পাতের এবং চারটি পিতলের দণ্ড থাকে (চিত্র 19)। এগুলো ধাতব টুকরোয় আড়াআড়ি যুক্ত থাকে। এদের বিন্যাস এমন যে ইস্পাতের দণ্ডগুলিতে নিম্ন প্রসারণ ও পিতলের দণ্ডে ঊর্ধ্ব প্রসারণ ঘটে। ইস্পাতের পাঁচটি দণ্ড থাকলেও, সমান মাপের দণ্ডগুলোর প্রসারণ কার্যত একটির প্রসারণ। পিতলের দণ্ডের ক্ষেত্রেও তা-ই। কাজেই পাঁচটি ইস্পাত দণ্ডের যে প্রসারণ তা তিনটি দণ্ডের প্রসারণের সমান। তেমনি চারটির পিতলের দণ্ডের কার্যকর প্রসারণ দুটির সমান।

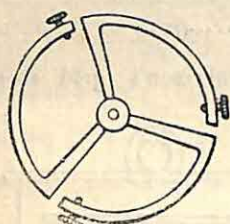
চিত্র 19

কাজেই (iv) নং সমীকরণ থেকে

$$\frac{\text{ইস্পাতের মোট কার্যকরী দৈর্ঘ্য}}{\text{পিতলের মোট কার্যকরী দৈর্ঘ্য}} = \frac{\text{পিতলের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক}}{\text{ইস্পাতের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক}}$$

$$\text{বা, } \frac{l}{l'} = \frac{0{\cdot}000018}{0{\cdot}000012} = \frac{3}{2}$$

2.12 হাতঘড়ির সংশোধিত ব্যালান্স হুইল
(Compensated balance wheel of watches)

হাতঘড়িতে সময় নির্দেশের জন্য দোলকের পরিবর্তে একটি ব্যালান্স হুইল (বা ভারসাম্য চক্র) থাকে (চিত্র 20)। ঘড়ির দোলনকাল ঐ চক্রের ব্যাসার্ধের উপর নির্ভর করে। ব্যাসার্ধ বাড়লে দোলনকালও বাড়ে, কমলে কমে। কাজেই ঐ চক্রকেও প্রতিবিহিত করা দরকার।

এজন্য চক্রের আংটাটি দুটি ভিন্ন ধাতুর পাত জুড়ে তৈরি করা হয়। বাইরের দিকে পিতল ও ভিতরের দিকে ইস্পাত থাকে। চক্রটি 2 বা 3টি অংশে ভাগ করা থাকে। প্রত্যেক অংশের প্রান্তে একটি করে ভারি স্ক্রু লাগানো। এবং প্রতিটি অংশ চক্রের একটি বাহু বা শলাকা দ্বারা কেন্দ্রের সঙ্গে যুক্ত। উষ্ণতা বাড়লে প্রত্যেক দণ্ডের প্রসারণ ঘটে; চাকার ব্যাসার্ধ বেড়ে যায়। ফলে স্ক্রু-গুলো কেন্দ্র থেকে দূরে সরে যেতে চায়। কিন্তু পিতল ও ইস্পাতের অসমান প্রসারণ আংটার পাতকে এমন ভাবে বাঁকায় যে, স্ক্রু-গুলো কেন্দ্রাভিমুখী হয়। ফলে দোলনকাল ঠিক থাকে।

চিত্র 20

2.13 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. একটি লোহার পাইপ 0°C-এ 60 ফুট দীর্ঘ। 100°C-এ ওর দৈর্ঘ্য কত হবে? লোহার $\alpha = 0{\cdot}000012/°C$

ধর, l_{100} = 100°C-এ পাইপের দৈর্ঘ্য

t_o = 0°C-এ পাইপের দৈর্ঘ্য

∴ সূত্রানুসারে, $l_{100} = l_o(1+\alpha t)$

$= 60(1+0{\cdot}000012\times 100)$

$= 60+60\times 100\times 0{\cdot}00012$

$= 60{\cdot}072$ **ফুট**

উদা. 2. একটি ব্রাশ নির্মিত স্কেল 20°C উষ্ণতায় ত্রুটিহীন। 45°C উষ্ণতায় ঐ স্কেলে কোন দণ্ডের দৈর্ঘ্য মেপে দেখা গেল 50 সেমি.; দণ্ডের প্রকৃত দৈর্ঘ্য কত? (ব্রাসের $\alpha = 18\times 10^{-6}/°C$) **(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1965)**

20°C-এ যে দৈর্ঘ্য 1 সেমি., 45°C-এ তা বেড়ে যাবে।

নতুন দৈর্ঘ্য $=1+1\times18\times10^{-6}\times(45-20)$
$=1+25\times18\times10^{-6}$
$=1\cdot00045$ সেমি.

কাজেই যা 50 সেমি. দেখাচ্ছে তার প্রকৃত দৈর্ঘ্য তার চেয়ে বেশি এবং তার প্রকৃত দৈর্ঘ্য $=50\times1\cdot00045=50\cdot0225$ **সেমি.**

উদা 3. একটি বর্গাকৃতি ধাতব পাতের প্রতি পার্শ্ব 10°C-এ 100 সেমি. দীর্ঘ। পাতের কেন্দ্রস্থল 40 সেমি. ব্যাসের একটি গোলাকার ছিদ্র আছে। কত উষ্ণতায় বাহুর দৈর্ঘ্য 101 সেমি. হবে? তখন ছিদ্রের ব্যাস কত হবে? (ধাতুর $\alpha=1\cdot25\times10^{-5}/°C$)

ধর, নির্ণেয় উষ্ণতা t°C;

$\therefore$ সূত্রানুসারে, $l_t=l_{10}(1+\alpha t)$

বা, $l_t-l_{10}=l_{10}\alpha t$

বা, $101-100=100\times1\cdot25\times10^{-5}t$

$\therefore \quad t=\frac{10^5}{125}=800°C$

ধর, r_0 = ছিদ্রের প্রাথমিক ব্যাস

r_{800} = ছিদ্রের অন্তিম ব্যাস

$\therefore \quad r_{800}=r_0(1+\alpha t)$
$=40\ (1+1\cdot25\times10^{-5}\times800)$
$=40\ (1+10^{-2})$
$=40+\cdot4=40\cdot4$ **সেমি.**

উদা. 4. একটি রেল লাইন 66 ফুট লম্বা টুকরো টুকরো লোহার রেলে তৈরী। দুই রেলের মধ্যবর্তী ফাঁক 10°C-এ 0·5 ইঞ্চি। কত ডিগ্রি উষ্ণতায় রেলগুলি ঠিক মুখে মুখে জুড়ে যাবে? (লোহার $\alpha=11\times10^{-6}/°C$)
(**কঃ বিঃ 1953**)

মোট দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি $=0\cdot5$ ইঞ্চি

ধর, নির্ণেয় উষ্ণতা $=t$°C

$\therefore \quad l_t=l_{10}(1+\alpha\,\overline{t-10})$

বা, $l_t-l_{10}=l_{10}\,\alpha(t-10)$

বা, $0{\cdot}5 = 66 \times 12 \times 11 \times 10^{-6}(t-10)$

$$\therefore\ t-10 = \frac{0{\cdot}5}{66 \times 12 \times 11 \times 10^{-6}} = 57{\cdot}4$$

$$\therefore\ t = 67{\cdot}4°C$$

উদা. 5. একটি ইস্পাত দণ্ড 15°C-এ 30 ইঞ্চি দীর্ঘ; 90°C-এ এর দৈর্ঘ্য 0·027 ইঞ্চি বৃদ্ধি পায়। ইস্পাতের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

এখানে উষ্ণতার বৃদ্ধি=(90° − 15°)=75°C

$$\text{দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক } \alpha = \frac{\text{দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতার বৃদ্ধি}}$$

$$\therefore\ \text{এখানে } \alpha = \frac{0{\cdot}027}{30 \times 75} = 12 \times 10^{-5}/°C$$

উদা. 6. একটি দোলক 25°C-এ দুই সেকেণ্ডে একবার পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করে। দোলকদণ্ড পাতলা ইস্পাতে তৈরী। 35°C-এ দোলকদণ্ডের দৈর্ঘ্য পরিবর্তনের ভগ্নাংশ কত? ঐ উষ্ণতায় ঘড়ি দৈনিক কত ফাস্ট বা স্লো যাবে? (ইস্পাতের $\alpha = 11 \times 10^{-6}/°C$)

$$l_{35} = l_{25}\{1 + \alpha\,(t_2 - t_2)\} \qquad \therefore\ \frac{l_{35} - l_{25}}{l_{25}} = \alpha\,(t_2 - t_1)$$

$$\therefore\ \text{দৈর্ঘ্য পরিবর্তনের ভগ্নাংশ} = \alpha(t_2 - t_1)$$

$$= 11 \times 10^{-6} \times (35 \quad 25)$$

$$= 11 \times 10^{-5}$$

যেহেতু দৈর্ঘ্য বাড়লো, পর্যায়কালও বাড়বে; ঘড়ি স্লো যাবে। দিনে যে কয় সেকেণ্ড স্লো যাবে তার পরিমাণ

$$\Delta t = 43200 \times \text{দৈর্ঘ্য পরিবর্তনের ভগ্নাংশ}$$

$$= 43200 \times 11 \times 10^{-5} = 4{\cdot}75 \text{ সেকেণ্ড}$$

উদা. 7. উষ্ণতার প্রভেদ যাই হোক, দুটি দণ্ড A ও B-র দৈর্ঘ্য পার্থক্য সর্বদা 25 সেমি.। A-র $\alpha = 1{\cdot}28 \times 10^{-5}/°C$ এবং B-র $\alpha = 1{\cdot}92 \times 10^{-5}/°C$; 0°C-এ A ও B-র দৈর্ঘ্য কত?

ধর, 0°C-এ A-র দৈর্ঘ্য $= l_o$ সেমি.

∴ প্রশ্নানুসারে, 0°C-এ B-র দৈর্ঘ্য $= l_o - 25$ সেমি.

$t°$ উষ্ণতা বৃদ্ধিতে A-র দৈর্ঘ্য প্রসারণ $= l_o \alpha t = l_o \times 1{\cdot}28 \times 10^{-5} t$

$t°$ " " B-র দৈর্ঘ্য প্রসারণ $= (l_o - 25) \times 1{\cdot}92 \times 10^{-5} t$

$\therefore \quad l_o \times 1{\cdot}28 \times 10^{-5} t = (l_o - 25) \times 1{\cdot}92 \times 10^{-5} t$

বা, $l_o(1{\cdot}92 - 1{\cdot}28) = 25 \times 1{\cdot}92$

∴ A-র দৈর্ঘ্য $= l_o = \dfrac{25 \times 1{\cdot}92}{0{\cdot}64} = 75$ সেমি.

∴ B-র দৈর্ঘ্য $= 75 - 25 = 50$ সেমি.

অনুশীলনী

1. দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক, ক্ষেত্র প্রসারণ গুণাঙ্ক ও আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক বলতে কি বোঝ ? তিন গুণাঙ্কের পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় কর।

2. কি করে পরীক্ষার সাহায্যে কোন ধাতব দণ্ডের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করবে ?

3. তাপীয় প্রসারণের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ কর।

4. নিম্নলিখিত বিষয়গুলো ব্যাখ্যা কর :

(i) রেললাইনে দুই রেলের মধ্যে ফাঁক রাখা হয়।

(ii) দুটি বিভিন্ন ধাতুপাতে রিভেট করা একটি দ্বি-ধাতব পাতকে গরম করলে সেটি বেঁকে যায়।

(iii) দ্বি-ধাতব পাতকে সংকেত যন্ত্ররূপে ব্যবহার করা যায়।

(iv) কাচের ছিপি বোতলে আটকে গেলে গরম করলে ছিপি খুলে যায়।

5. কয়েকটি সহজ পরীক্ষায় তাপীয় প্রসারণের অস্তিত্ব প্রমাণ কর।

6. কি করে প্রমাণ করবে যে, বিভিন্ন পদার্থের প্রসারণ মাত্রা বিভিন্ন।

7. গড় দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক ও শূন্য দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক কি ? বিষয়টি ব্যাখ্যা কর।

8. ব্রাসের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 19 \times 10^{-6}/°C$। একটি ব্রাস স্কেল 60°F-এ সঠিক পাঠ দেখায়। 60°C-এ ঐ স্কেলের সাহায্যে একটি বস্তুর দৈর্ঘ্য মেপে দেখা গেল 30 ইঞ্চি। বস্তুটির প্রকৃত দৈর্ঘ্য কত ?

(কঃ বিঃ 1951) [30·25 ইঞ্চি]

9. 66 ফুট লম্বা দুই রেলের মধ্যে ফাঁক দেখা গেল 10°C-এ 0·5 ইঞ্চি। কত উষ্ণতায় রেল দুটি পরস্পরকে ঠিক স্পর্শ করবে? $\alpha = 11 \times 10^{-6}$
(কঃ বিঃ 1953) [67·3°C]

10. এক ব্যক্তি 1 ইঞ্চি ব্যাসের একটি ইস্পাত দণ্ডে অ্যালুমিনিয়মের আংটি পড়াতে চান। কিন্তু দেখা গেল, আংটির ব্যাস 0·001 ইঞ্চি কম পড়ছে। উষ্ণতা কত বৃদ্ধি করলে আংটিটি ঠিক দণ্ডে প্রবেশ করবে? প্রবেশ করিয়ে কিছুক্ষণ পরে আংটি খুলতে গিয়ে দেখলেন জোরে আটকে গেছে। কত ডিগ্রি গরম করলে আংটিটি খোলা যাবে? অ্যালুমিনিয়মের $\alpha = 0·000025$; ইস্পাতের $\alpha = 0·000010$.
(গৌহাটি 1953) [40° ; 66·6°]

11. একটি প্রতিবিহিত দোলকে 5টি ইস্পাত দণ্ড ও 4টি পিতলের দণ্ড আছে। প্রতিটি পিতলের দণ্ডের দৈর্ঘ্য 50 সে.মি.। ইস্পাতের $\alpha = 12 \times 10^{-6}$ এবং পিতলের $\alpha = 18 \times 10^{-6}$ হলে, প্রতিটি ইস্পাত দণ্ডের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।
(কঃ বিঃ 1948) [50 সে. মি.]

12. একটি রেল লাইন 30 ফিট দীর্ঘ লোহার রেলে তৈরী। 90°F উষ্ণতায় রেলগুলি ঠিক মুখে মুখে জুড়ে যায়। হিমাঙ্কে দুই রেলের মধ্যে কতটা ফাঁক থাকবে। লোহার $\alpha = 60 \times 10^{-7}/°F$।
[0·04 ইঞ্চি]

13. কোন স্থানে গ্রীষ্মে সর্বোচ্চ উষ্ণতা 40°C এবং শীতে সর্বনিম্ন উষ্ণতা −20°C। ঐ স্থানে 3400 ফুট দীর্ঘ সেতুর প্রসারণের জন্য কতটুকু জায়গা রাখা প্রয়োজন? ইস্পাতের $\alpha = 0·000012$.
[2·44 ফিট]

14. এলাহাবাদ থেকে দিল্লীর দূরত্ব 390 মাইল। রেলে প্রসারণের জন্য দুই রেলের অন্তবর্তী মোট ফাঁক কতটা রাখতে হবে? ঐ অঞ্চলের শীতকালীন উষ্ণতা 36°F, গ্রীষ্মকালীন উষ্ণতা 117°F। (এলা. 1962) [0.21 মাইল]

15. 0°C-এ 100 সেমি. ব্যাসার্ধযুক্ত একটি গোলককে 100°C উষ্ণ করায় ব্যাসার্ধ দাঁড়ালো 101 সেমি.। ঐ গোলকের উপাদানের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।
[0·0003]

16. একটি ইস্পাতের মিটার স্কেল 0°C-এ এবং আর একটি 25°C-এ ত্রুটিহীন। 20°C-এ দুই স্কেলের দৈর্ঘ্যের পার্থক্য কত? [0·03 সেমি.]

17. একটি দস্তার দণ্ডের উষ্ণতা 59°F থেকে 100°C করায় দৈর্ঘ্য 5 মিলিমিটার বৃদ্ধি পেল। দস্তার দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক $29 \times 10^{-6}/°C$ হলে 59°F উষ্ণতায় দণ্ডটির দৈর্ঘ্য কত ছিল? (উঃ মাঃ 1960) [2.028 মিটার]

3 তৃতীয় অধ্যায়

তরলের প্রসারণ (Expansion of liquids)

3.1 তরলের প্রসারণ (Expansion of liquids)

তরলের অন্যতম বৈশিষ্ট্য হল তার নিজস্ব কোন আকার নেই, ধারকের আকারই তরলের আকার। কিন্তু তরলের নির্দিষ্ট আয়তন আছে। এই কারণে তরলের দৈর্ঘ্য বা ক্ষেত্র প্রসারণ বলে কিছু নেই; **আছে কেবল আয়তন প্রসারণ।**

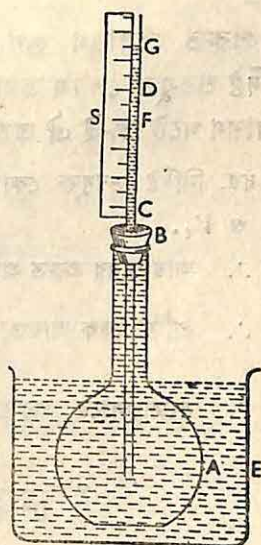
তা ছাড়া, তরলের প্রসারণ দেখতে ঐ তরলকে কোন না কোন কঠিন পদার্থে তৈরি ধারকে রেখে গরম করতে হয়। ফলে তরলের সঙ্গে সঙ্গে পাত্রেরও প্রসারণ ঘটে। কাজেই **ধারকের প্রসারণের সাপেক্ষে তরলের প্রসারণ বিচার করতে হয়।**

3.2 তরলের প্রকৃত ও আপাত প্রসারণ (Real and apparent expansions)

পরীক্ষা—সরু ও লম্বা গলা একটি ফ্লাস্ক A-কে রঙীন জলে পূর্ণ কর। ফ্লাস্কের মুখে B ছিপির ভিতর দিয়ে সরু ও সমান ব্যাসের কাচনল লাগিয়ে ফ্লাস্কটিতে ছিপি এঁটে দাও। জলে যেন কোন বুদ্‌বুদ্ না থাকে। সুতো দিয়ে নলের গায়ে একটি স্কেল S বাঁধ। ধর, জলের তল স্কেলের D দাগে রয়েছে। এখন, ফ্লাস্কটিকে হঠাৎ E পাত্রের ফুটন্ত জলে ডোবাও। দেখ, জলতল F বিন্দুতে নামলো এবং কিছু পরে ধীরে ধীরে জলতল বাড়তে লাগলো, এমন কি D দাগ ছাড়িয়ে G-তে পৌছল।

G
D
S
F
C
B
A
E

চিত্র 21

কেন এমন হল? গরম জলে ফ্লাস্ক ডোবানের ফলে ফ্লাস্কের আয়তন বাড়ে; কিন্তু কাচ তাপের কুপরিবাহী বলে সেই মুহূর্তে ভিতরের তরল তাপে প্রসারিত হতে পারে না। ফলে জল অতিরিক্ত আয়তন দখল করে এবং জলতল নেমে যায়।

কিন্তু কিছু পরে যখন ভিতরের জলও তাপ পায় তখন ওর আয়তনের প্রসারণ ঘটে। কিন্তু একই উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে তরলের আয়তন-প্রসারণ কঠিনের আয়তন প্রসারণের চেয়ে অনেক বেশি। কাজেই জলতল ধীরে ধীরে বাড়তে থাকে এবং **D** দাগকে ছাড়িয়ে যায়।

স্পষ্টত **D** থেকে **F** পর্যন্ত যে আয়তন তা পাত্রের প্রসারণ। **F** থেকে **G** পর্যন্ত যে আয়তন তা তরলের প্রকৃত প্রসারণ এবং **D** থেকে **G** পর্যন্ত যে আয়তন তা তরলের আপাত প্রসারণ।

কাচনলটি সমান ব্যাসের বলে আয়তন দৈর্ঘ্যের সমানুপাতী।

চিত্র থেকে : $GF = DF + DG$

$\therefore$ **প্রকৃত প্রসারণ = আপাত প্রসারণ + পাত্রের প্রসারণ**

3.3 প্রকৃত ও আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক (Real and apparent coefficients of expansion)

আমরা এইমাত্র দেখলাম, তরলের দু'রকম প্রসারণ রয়েছে—একটি প্রকৃত প্রসারণ, অন্যটি আপাত প্রসারণ। কাজেই তরলের প্রসারণ গুণাঙ্কও দুটি।

প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক : 0° থেকে 1° উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য নির্দিষ্ট ভরযুক্ত কোন তরলের প্রতি একক আয়তনে যে প্রকৃত প্রসারণ ঘটে তা-ই ঐ তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক।

ধর, নির্দিষ্ট ভরযুক্ত কোন তরলের $0°$ ও $t°$ উষ্ণতায় আয়তন যথাক্রমে V_o ও V_t.

$\therefore$ আয়তনের প্রকৃত প্রসারণ $= V_t - V_o$; উষ্ণতা-বৃদ্ধি $= t°$

$\therefore$ প্রতি একক আয়তনে $1°$ উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে প্রকৃত প্রসারণ $= \dfrac{V_t - V_o}{V_o t}$

$\therefore$ সংজ্ঞানুসারে, প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক $\gamma = \dfrac{V_t - V_o}{V_o t}$ ... (i)

$$\therefore \gamma = \frac{\text{তরলের প্রকৃত প্রসারণ}}{0° \text{ উষ্ণতায় আয়তন} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$$

আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক : 0° থেকে 1° উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য নির্দিষ্ট ভরযুক্ত কোন তরলের প্রতি একক আয়তনে যে আপাত প্রসারণ ঘটে তা-ই ঐ তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক।

ধর, নির্দিষ্ট ভরযুক্ত কোন তরলের 0° উষ্ণতায় আয়তন V_o , V'_t হল $t°$ উষ্ণতায় ঐ তরলের আপাত আয়তন।

∴ আয়তনের আপাত প্রসারণ $= V'_t - V_o$; উষ্ণতা বৃদ্ধি $= t°$

∴ প্রতি একক আয়তনে 1° উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে

$$\text{আপাত প্রসারণ} = \frac{V'_t - V_o}{V_o t}$$

∴ সংজ্ঞানুসারে, আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক $\gamma' = \frac{V'_t - V_o}{V_o t}$ ... (ii)

$$\therefore \gamma' = \frac{\text{তরলের আপাত প্রসারণ}}{0° \text{ উষ্ণতায় আয়তন} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$$

(i) থেকে $\mathbf{V}_t = \mathbf{V}_o(1+\gamma \mathbf{t})$ ...... (iii)

(ii) থেকে $\mathbf{V'}_t = \mathbf{V}_o(1+\gamma' \mathbf{t})$ ...... (iv)

(iii) নং সমীকরণে $V_t = t°$তে তরলের প্রকৃত আয়তন, কিন্তু (iv) নং সমীকরণে $V'_t = t°$তে তরলের আপাত আয়তন।

তরলের প্রসারণ খুব কম বলে প্রাথমিক উষ্ণতা 0° না হলেও বিশেষ ভুল হয় না। এজন্য (iii) ও (iv) নং সমীকরণের বদলে যথাক্রমে লেখা যায় :

$$V_2 = V_1\{1+\gamma(t_2 - t_1)\} \quad \text{......} \quad (v)$$

$$V'_2 = V_1\{1+\gamma'(t_2 - t_1)\} \quad \text{......} \quad (vi)$$

V_1 হল t_1 ডিগ্রিতে নির্দিষ্ট ভরযুক্ত কোন তরলের প্রকৃত আয়তন, V_2 হল t_2 ডিগ্রিতে ঐ তরলের প্রকৃত আয়তন এবং V_2' হল t_2 ডিগ্রিতে ঐ তরলের আপাত আয়তন। এবং $t_2 > t_1$।

নিম্নলিখিত বিষয়গুলো লক্ষ্য কর :

(i) প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক তরলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে ; আর আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক পাত্রের উপাদানের উপর নির্ভর করে—কারণ ধারকের বিভিন্নতায় একই তরলের আপাত প্রসারণ বিভিন্ন হয়।

(ii) দুই প্রসারণ গুণাঙ্কই অনুপাত বলে সংখ্যা মাত্র ; কিন্তু উষ্ণতার স্কেলের উপর এদের মান নির্ভর করে। যেহেতু $1°C = \frac{9}{5}°F$, অতএব $\gamma_c = \frac{9}{5}\gamma_f$ এবং $\gamma'_c = \frac{9}{5}\gamma'_f$.

3.4 প্রকৃত ও আপাত প্রসারণ গুণাঙ্কের সম্পর্ক (Relation between the two co-efficients)

ধর, γ=তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক, γ'=আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক, γ_g= ধারকের উপাদানের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক।

ধর, 0°C উষ্ণতায় তরলের তল D-তে আসে, t°C উষ্ণতায় তল G-তে দাঁড়ায় (চিত্র 21)।

ধর, 0°C উষ্ণতায় D পর্যন্ত তরলের আয়তন $=V_0$; FG-এর আয়তন $=V$; DG-এর আয়তন $=V_1$; DF-এর আয়তন $=V_2$ ।

t°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য পাত্রের আয়তন প্রসারণ=DF-এর আয়তন

$$\therefore \quad V_2=V_0\gamma_g t.$$

t°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য তরলের প্রকৃত প্রসারণ=FG অংশের আয়তন

$$\therefore \quad V=V_0\gamma t.$$

t°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য তরলের আপাত প্রসারণ=DG অংশের আয়তন

$$\therefore \quad V_1=V_0\gamma' t.$$

যেহেতু নলের প্রস্থচ্ছেদ সর্বত্র সমান, কাজেই স্পষ্টত

FG অংশের আয়তন=DG অংশের আয়তন+DF অংশের আয়তন

$$\text{বা} \quad V_0\gamma t=V_0\gamma' t+V_0\gamma_g t$$

$$\therefore \quad \gamma=\gamma'+\gamma_g$$

প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক

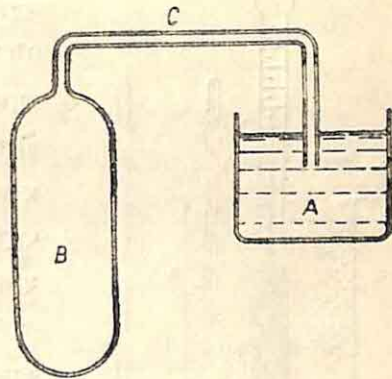
=আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক+পাত্রের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক।

3.5 তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of apparent co-efficient)

এ সম্পর্কে একাধিক পদ্ধতি প্রচলিত আছে। এখানে কেবলমাত্র দুটি পদ্ধতির কথা আলোচিত হল।

ভার থার্মোমিটার পদ্ধতি (Weight thermometer method) : ভার থার্মোমিটার হল কাচের তৈরি একটি গোলাকার কুণ্ড B, কুণ্ডের মুখে একটি লম্বা কৈশিক নল C (চিত্র 22 দেখ)।

প্রথমে থার্মোমিটারটি ধুয়ে পরিষ্কার করে শুকিয়ে ওজন নেওয়া হয়। তারপর ঘরের উষ্ণতায় পরীক্ষাধীন তরলে সম্পূর্ণ ভর্তি করা হয়। তরলে

থার্মোমিটারটি ভর্তি করা খুবই একঘেয়ে কাজ; অনেকক্ষণ ধরে সাবধানে পর্যায়ক্রমে গরম ও ঠাণ্ডা করে এটি করা হয়। এর পর থার্মোমিটারটিকে আবার ওজন করা হয়। পরে একে উষ্ণ জলের টবে সুবিধাজনক উষ্ণতায় প্রায় মিনিট দশেক রেখে দেওয়া হয়। প্রসারণের ফলে কিছু তরল A-পাত্রে বেরিয়ে আসে। উষ্ণ জলের টবের উষ্ণতার পাঠ নেওয়া হয়। পরে থার্মোমিটারকে বাইরে এনে জল মুছে শুকিয়ে ফের ওজন করা হয়।

চিত্র 22

ধর, M_1 = খালি থার্মোমিটারের ভর

M_2 = থার্মোমিটার + নিম্নতর উষ্ণতায় ভর্তি তরলের ভর

M_2 = থার্মোমিটার + উচ্চতর উষ্ণতায় ভর্তি তরলের ভর

t°C = চূড়ান্ত ও প্রাথমিক উষ্ণতার পার্থক্য

$\therefore$ প্রাথমিক উষ্ণতায় পাত্রস্থ তরলের ভর $= M_2 - M_1$

চূড়ান্ত উষ্ণতায় পাত্রস্থ তরলের ভর $= M_3 - M_1$

ধর, প্রাথমিক ও চূড়ান্ত উষ্ণতায় তরলের ঘনাঙ্ক যথাক্রমে ρ_0, ρ_1; তাপের ফলে পাত্রের প্রসারণ উপেক্ষা করলে, পাত্রের আয়তন

$$V_0 = (M_2 - M_1)/\rho_0 = (M_3 - M_1)/\rho_1$$

$$\therefore \quad \frac{\rho_0}{\rho_1} = \frac{M_2 - M_1}{M_3 - M_1};$$

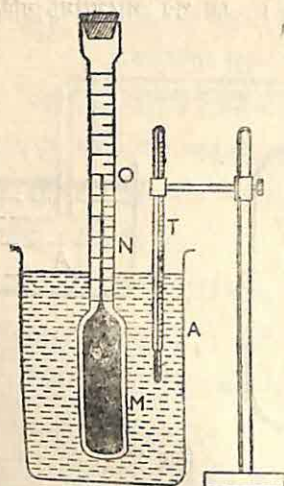
কিন্তু $\rho_0 = \rho_1 (1 + \gamma t)$, γ = আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক।

$$\therefore \quad 1 + \gamma t = \frac{M_2 - M_1}{M_3 - M_1}$$

$$\text{বা} \quad \gamma = \frac{(M_2 - M_1) - (M_3 - M_1)}{(M_3 - M_1)t} = \frac{\text{পাত্রচ্যুত তরলের ভর}}{\text{পাত্রস্থ তরলের ভর} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$$

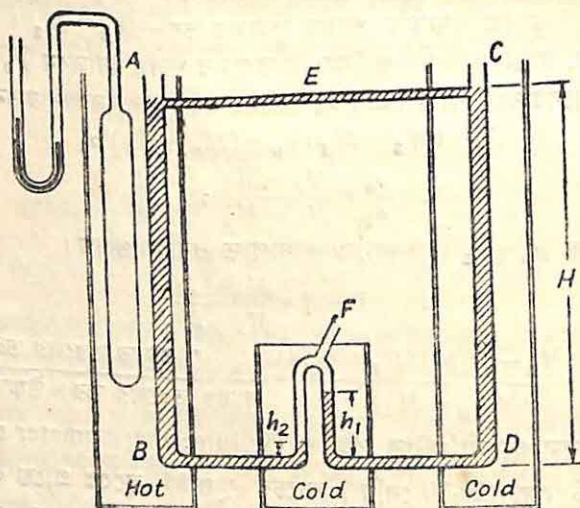
আয়তন থার্মোমিটার পদ্ধতি (Volume thermometer method): এটি একটি লম্বা (20-30 সেমি) কাচের কুণ্ড M, কুণ্ডের প্রান্তে একটি সমান প্রস্থচ্ছেদের সরু নল O লাগানো থাকে। O নলে আয়তন নির্দেশক সমান অংশাঙ্কন (graduation) থাকে।

প্রথম কুণ্ড ও নলের কিছুটা পরীক্ষাধীন তরলে ভর্তি করা হয়। পরে 0°C

উষ্ণতার বরফ জলে কুণ্ডটি কিছুক্ষণ ডুবিয়ে রাখা হয়। ধরা যাক, এর ফলে তরল-তল N বিন্দুতে এসে স্থির হল। এখন তরল-তলের পাঠ নেওয়া হয়। এই পাঠ 0°C-র তরলের আয়তন এবং ধরা যাক, এই আয়তন V_0। এবার জলগাহে কুণ্ডকে ডুবিয়ে ধীরে ধীরে গরম করা হয়। ধরা যাক, এর ফলে তরল-তল O দাগে এসে স্থির হল। থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের উষ্ণতা t°C মাপ এবং স্কেল থেকে ঐ উষ্ণতায় তরলের আয়তনের পাঠ নাও। ধরা যাক, এই আয়তন V_t

চিত্র 23

$\therefore$ তরলের আপাত আয়তন $= V_t - V_0$

$\therefore$ আপাত প্রসার গুণাঙ্ক $= \dfrac{V_t - V_0}{V_0 t}$.

3.6 তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় (Determination of real coefficient)

চিত্র 24

রেনোর পদ্ধতি (Regnault's method) : রেনোর যন্ত্র চিত্র 24 থেকে স্পষ্ট হবে। এতে থাকে দুটি চওড়া উল্লম্ব বাহু—AB এবং CD ; দৈর্ঘ্য

প্রায় 1·5 মিটার। উপরে এবং নিচে দুটি অনুভূমিক সরু নলের সাহায্যে বাহু দুটি পরস্পর যুক্ত। উপরের সরু নলে একটি ছোট গর্ত E থাকে ; ঐ পথে তরল বাইরের বায়ু চাপে থাকে। নিচের সরু নলের মাঝামাঝি অঞ্চলে একটি সরু U-নল উল্টো করে বসানো। AB এবং CD বাহু পরীক্ষাধীন তরলে ভর্তি করা হয়। কিন্তু তরল যাতে উল্টো U-নলে প্রবেশ করতে না পারে সেজন্য F বিন্দুতে একটি বায়ু-পাম্প লাগিয়ে চাপ সৃষ্টি করা হয়। AB-র উষ্ণতা CD-র সাপেক্ষে t°C বৃদ্ধি করা হয় এবং যদি F বিন্দুতে চাপ P হয়, তবে

$$H\rho_o = P + h_1\rho_o$$

এবং $$H\rho_t = P + h_2\rho_o$$

ρ_o ও ρ_t হল যথাক্রমে ঘরের উষ্ণতায় এবং t°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে তরলের ঘনাঙ্ক এবং উচ্চতাগুলো চিত্রে দেখানো আছে।

দেখানো যায় যে, আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক $\gamma = \dfrac{h_1 - h_2}{(H - h_1 + h_2)t}$

3.7 ব্যারোমিটারের পাঠ-সংশোধন (Barometric correction)

উষ্ণতার পরিবর্তনের দরুণ (i) ব্যারোমিটারের স্কেলের এবং (ii) পারদের ঘনাঙ্কের পরিবর্তন ঘটে। এজন্য প্রয়োজনীয় সংশোধন দরকার।

(i) স্কেলের প্রসারণজনিত সংশোধন—ধর, স্কেলের অংশাঙ্কনগুলো t_o°C-এ শুদ্ধ এবং ব্যারোমিটারের পাঠগ্রহণ কালে উষ্ণতা t°C ; তা হলে, স্কেল থেকে পারদস্তম্ভের যে দৈর্ঘ্য h পাঠ করা হল তা প্রকৃত দৈর্ঘ্য নয়। স্কেলের উপাদানের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক α হলে t_o°C-এ স্কেলের 1 সেমি দৈর্ঘ্য t°C-এ হবে $1+\alpha(t-t_o)$। কিন্তু স্কেল এখনও ঐ দৈর্ঘ্য 1 সেমি. বলে দেখাচ্ছে। কাজেই স্কেল যখন h দৈর্ঘ্য দেখাবে তখন সংশোধিত দৈর্ঘ্য

$$H = h\{1+\alpha(t-t_o)\}$$

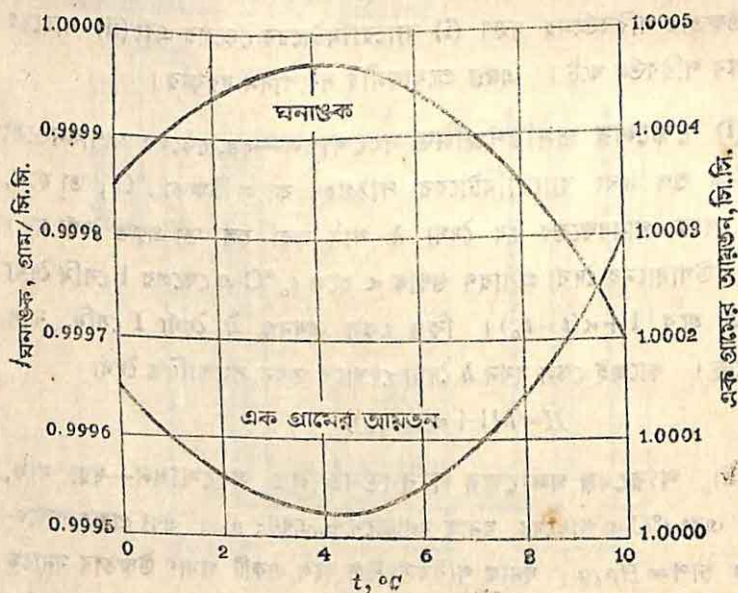
(ii) **পারদের ঘনাঙ্কের পরিবর্তনজনিত সংশোধন**—ধরা যাক, 0°C এবং t°C-এ পারদের ঘনাঙ্ক যথাক্রমে ρ_oএবং ; ρ_t ; এবং প্রকৃত ব্যারে-মিটার চাপ$=H\rho_t g$; ঘনাঙ্ক পরিবর্তনশীল বলে একটি প্রমাণ উষ্ণতার ঘনাঙ্কে চাপ প্রকাশ করতে হবে। এই প্রমাণ উষ্ণতা হল 0°C। এখন ঘনাঙ্কের পরিবর্তনজনিত সংশোধন হল 0°C এ কোন্ দৈর্ঘ্যের পারদ স্তম্ভ উল্লিখিত চাপ $H\rho g$ দেখাবে। ধর, এই দৈর্ঘ্য H_o। $\therefore\ H_o\rho_o g = H\rho_t g$

কিন্তু $\rho_o = \rho_t(1+\gamma t)$, γ=পারদের প্রকৃত আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক।

$$\therefore \quad H_o = \frac{H}{1+\gamma t} = \frac{h\{1+\alpha(t-t_o)\}}{1+\gamma t}$$

h=ব্যারোমিটার স্কেল থেকে পাওয়া পারদ স্তম্ভের পাঠ, H=স্কেলের প্রসারণজনিত সংশোধন করার পর স্তম্ভের দৈর্ঘ্য, H_o=0°C-এ পারদস্তম্ভের যে দৈর্ঘ্য প্রদত্ত পারদস্তম্ভের চাপের সমান চাপ প্রয়োগ করবে।

3.8 জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ
(Anomalous expansion of water)

তাপ প্রয়োগে তরলের আয়তন-প্রসারণ ঘটে, আর তাপের অপসারণে আয়তনের সংকোচন হয়। এই হল সাধারণ নিয়ম। কিন্তু জলের ক্ষেত্রে, 0°C থেকে 4°C এর মধ্যে, এই নিয়মের ব্যতিক্রম দেখা যায়। যেমন, নির্দিষ্ট ভরের কিছু জলকে 0°C উষ্ণতায় এনে ধীরে ধীরে গরম করলে দেখা যায়, সাধারণ নিয়মানুসারে প্রসারিত না হয়ে ঐ জল সংকুচিত হচ্ছে। উষ্ণতা 4°C

চিত্র 25

না হওয়া পর্যন্ত এই সংকোচন চলতে থাকে। 4°C এর পর অবশ্য জলকে গরম করলে অন্যান্য তরলের মতো জলের আয়তন প্রসারণ ঘটে।

বিপরীত পক্ষে, নির্দিষ্ট ভরের কিছু জলকে ধীরে ধীরে ঠাণ্ডা করলে অন্যান্য তরলের মতো ঐ জলেরও আয়তন 4°C পর্যন্ত কমতে থাকে। কিন্তু 4°C থেকে 0°C পর্যন্ত জলের আয়তন, সাধারণ নিয়মের বিরুদ্ধে, না কমে বেড়ে যায়। **4°C থেকে 0°C উষ্ণতার মধ্যে জলের আয়তন প্রসারণের ক্ষেত্রে সাধারণ নিয়মের এই ব্যতিক্রমতাকে জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ বলে।**

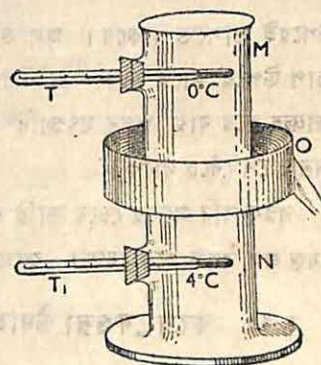
উপরের আলোচনা থেকে স্পষ্ট বোঝা যায় যে,

(i) নির্দিষ্ট ভরের **জলের আয়তন 4°C উষ্ণতায় সবচেয়ে কম।**

(ii) আয়তন ঘনাঙ্কের ব্যস্ত-অনুপাতী বলে **4°C উষ্ণতায় জলের ঘনাঙ্ক সবচেয়ে বেশি।** এই কারণে 4°C উষ্ণতায় জলের ঘনাঙ্ককে **ঘনাঙ্কের** একক ধরা হয়।

3.9 হোপের পরীক্ষা (Hope's experiment)

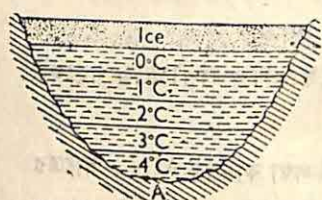
4°C-এ জলের ঘনত্ব যে সবচেয়ে বেশি তা **হোপের পরীক্ষায়** সহজেই প্রমাণ করা যায়।

পরীক্ষাটির জন্য প্রয়োজনীয় উপকরণ একটি লম্বা কাচপত্র MN ; পাত্রের মাঝামাঝি অঞ্চলে বাইরের দিকে একটি টব O লাগানো থাকে। দুটি রন্ধ্রপথে দুটি থার্মোমিটার T এবং T_1 কাচপাত্রে প্রবেশ করানো হয়—একটি উপরের দিকে, অন্যটি তলদেশে। MN পাত্রকে প্রথমে জলে ভর্তি করে টবে হিমমিশ্রণ (বরফ : নুন=4 : 1) রাখা হয়। হিমমিশ্রণ ব্যবহারের আগে দুই থার্মোমিটারের পাঠ নেওয়া হয়। হিমমিশ্রণের সান্নিধ্যে ঐ অঞ্চলের জল ঠাণ্ডা হয়ে ভারি হয় এবং নিচের দিকে নামে। ফলে T_1 থার্মো-মিটারের পাঠ কমতে থাকে, শেষে 4°C-এ এসে স্থির হয়। এদিকে T থার্মোমিটারের পাঠে প্রথম দিকে বিশেষ কোন পরিবর্তন দেখা যায় না। কিন্তু T_1 থার্মোমিটার যখন 4°C-এ এসে স্থির হয় তখন T থার্মোমিটারের উষ্ণতা কমতে শুরু করে—প্রথমে ধীরে, পরে অপেক্ষাকৃত দ্রুত। শেষ অবধি T থার্মোমিটারের পাঠ 0°C-এ এসে স্থির

চিত্র 26

হয় আর কমে না। কাজেই, বোঝা গেল, জলের সর্বোচ্চ ঘনত্ব 4°C-এ (সূক্ষ্মভাবে 3.98°C)।

3.10 জলচর প্রাণীর জীবনে ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের ফল (Effect of anomalous expansion on marine life)

জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ শীতপ্রধান দেশের জলচর প্রাণীর পক্ষে আশীর্বাদ।

শীতপ্রধান অঞ্চলের উপরাংশ ঠাণ্ডা বায়ুর সংস্পর্শে ক্রমে শীতল ও ভারি হয়ে জলাশয়ের নিচের দিকে নেমে যায়। আর নিচের অপেক্ষাকৃত গরম ও হাল্কা জল উপরের দিকে উঠে আসে। সমস্ত জলের উষ্ণতা 4°C-এ না আসা অবধি এই ওঠা-নামা প্রক্রিয়া চলতে থাকে। কিন্তু যেই উপরের জলের উষ্ণতা 4°C-এর চেয়ে কমে তখন ঐ জল হাল্কা হয়ে উপরেই থেকে যায়, নিচে নামে না। কাজেই উপরের জল ক্রমে ঠাণ্ডা হতে থাকে কিন্তু তলদেশের জল 4°C উষ্ণতায়-ই থাকে। ঘনাঙ্ক অনুসারে তলদেশে 4°C থেকে উপরে 0°C-এর জল দাঁড়িয়ে থাকে (চিত্র 27)। 0°C-এ জল বরফে পরিণত হবে। কিন্তু বরফ জলের চেয়ে হাল্কা, উপরেই ভাসতে থাকবে। জল ও বরফ তাপের কুপরিবাহী, ফলে নিচের জলের তাপ উপরে আসে না। তাই প্রচণ্ড শীতে যখন জলাশয়ের উপরিভাগ বরফে আচ্ছন্ন হয়ে যায় তখন মৎস্যাদি জলচর প্রাণী তলদেশে 4°C উষ্ণতার জলে অনায়াসে বেঁচে থাকে।

চিত্র 27

বরফ যদি জলের চেয়ে ভারি হত তবে তলদেশে চলে যেত এবং ঠাণ্ডায় সমস্ত জল বরফ হয়ে যেত। জলের প্রাণীদের পক্ষে বেঁচে থাকা সম্ভব হত না।

3.11 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. একটি খালি ভার থার্মোমিটারের ওজন 50 গ্রাম। 0°C এ গ্লিসারিনে ভর্তি ওজন 163.13 গ্রাম; 100°C-এ গ্লিসারিনে ভর্তি ওজন 157.65 গ্রাম। $\gamma_g = 27 \times 10^{-6}$; গ্লিসারিনের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক কত ?

$$\text{গ্লিসারিনের আঃ প্রঃ গুণাঙ্ক} = \frac{\text{বহিষ্কৃত গ্লিসারিনের ভর}}{\text{অন্তঃস্থ গ্লিসারিনের ভর} \times \text{উষ্ণতার বৃদ্ধি}}$$

$$\therefore \quad \gamma_a = \frac{163.13 - 157.65}{(157.65 - 50) \times 100}$$

$$= \frac{5.48}{107.65 \times 100} = 0.000509$$

$\therefore$ গ্লিসারিনের প্রকৃত গুণাঙ্ক $\gamma = 0{\cdot}000509 + 0{\cdot}000027 = \mathbf{0{\cdot}000536}$

উদা. 2. কাচের তৈরী একটি ভার থার্মোমিটার 0°C-এ 500 গ্রাম পারদে পুরো ভর্তি রয়েছে। থার্মোমিটারটিকে 80°C-এ উষ্ণ করা হলে কতটা পারদ বেরিয়ে যাবে? পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 182 \times 10^{-6}$, কাচের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 9 \times 10^{-6}$ **(কঃ বিঃ 1957)**

ধর, x গ্রাম পারদ বেরিয়ে যাবে।

পারদের প্রকৃত প্রসারণ $= \gamma_r = 182 \times 10^{-6}$

কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক $= \gamma_g = 3\alpha_g = 27 \times 10^{-6}$

(α_g = কাচের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক)

$\therefore$ পারদের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক $\gamma_a = \gamma_r - \gamma_g$

$= 182 \times 10^{-6} - 27 \times 10^{-6} = (182 - 27) \times 10^{-6} = 155 \times 10^{-6}$

কিন্তু $\gamma_a = \dfrac{\text{নিষ্ক্রান্ত পারদের ভর}}{\text{অন্তস্থঃ পারদের ভর} \times \text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}} = \dfrac{x}{(500 - x) \times 80}$

$$\therefore \quad \frac{x}{(500 - x) \times 80} = 155 \times 10^{-6}$$

$$\therefore \quad x = 155 \times 10^{-6} \times (500 - x) \times 80$$

$\therefore$ সমাধান করে $x = 6.12$ **গ্রাম**

উদা. 3. একটি কাচপাত্র 0°C-এ 816 গ্রাম পারদে পূর্ণ হয়। কিন্তু 100°C-এ 803.21 গ্রাম পারদে পূর্ণ হয়। পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক 0.000182 হলে, কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। **(কঃ বিঃ 1957)**

পারদের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক $= \dfrac{816.00 - 808.21}{803.21 \times 100} = 0.000159$

$\therefore$ কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 0.000182 - 0.000159$

$= \mathbf{0.000023}$

উদা. 4. একটি কাচের ফ্লাস্কের অন্তস্থঃ আয়তন 300 সিসি। ফ্লাস্কে কী পরিমাণ পারদ রাখলে ফ্লাস্কের বাকি অংশের আয়তন সব উষ্ণতাতেই

একই থাকবে? পারদের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক 0.00018 এবং কাচের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক 0.000009. (উৎকল, 1957)

ফ্লাস্কের বাকী অংশের আয়তন সব উষ্ণতাতেই অপরিবর্তিত থাকার শর্ত হল একই উষ্ণতা বৃদ্ধিতে পারদের আয়তন বৃদ্ধি = ফ্লাস্কের আয়তন বৃদ্ধি।

ধর, পারদের আয়তন $= v$ সি সি এবং $t =$ উষ্ণতা বৃদ্ধি

$\therefore$ শর্তানুসারে, $v \times 0.00018 \times t = 300 \times 3 \times 0.000009 \times t$

$$\therefore v = \frac{300 \times 3 \times 0{\cdot}000009}{0.00018} = 45 \text{ সি.সি}$$

উদা. 5. 20°C উষ্ণতায় 1·25 গুরুত্বের একটি তরলে কোন কঠিন বস্তুর ওজন 28 গ্রাম। বায়ুতে বস্তুটির ওজন 43.5 গ্রাম। ঐ একই তরলে 35°C উষ্ণতায় বস্তুটির ওজন 28.6 গ্রাম হলে কঠিন বস্তুটির দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। 35°C উষ্ণতায় ঐ তরলের গুরুত্ব 1.20. (কঃ বিঃ 1963)

20°C-এ বস্তু কর্তৃক অপসারিত তরলের ভর $= (43.5 - 28) = 15.5$ গ্রাম

35°C-এ " " " $= (43{\cdot}5 - 28{\cdot}6) = 14{\cdot}9$ গ্রাম

উষ্ণতার বৃদ্ধি $= (35 - 20) = 15$°C

উষ্ণতার পরিবর্তনে কঠিনের আয়তন পরিবর্তিত হয়নি ধরে, ঐ উষ্ণতায় অপসারিত তরলের আয়তন সমান ধরা যায়। অতএব 20°C উষ্ণতায় 15.5 গ্রাম তরলের আয়তন = 35°C উষ্ণতায় 14·9 গ্রাম তরলের আয়তন।

$\therefore$ তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক $= \dfrac{15.5 - 14{\cdot}9}{14{\cdot}9 \times 15} = 26{\cdot}8 \times 10^{-4}$

কিন্তু $\rho_{20} = \rho_{35}\{1 + \gamma(35 - 20)\}$; $\gamma =$ তরলের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক।

$\therefore \; 1{\cdot}25 = 1{\cdot}20\,(1 + 15\gamma) \quad \therefore \; \gamma = 27{\cdot}7 \times 10^{-4}$

$\therefore \; \gamma_g = 27{\cdot}7 \times 10^{-4} - 26{\cdot}8 \times 10^{-4} = 0{\cdot}9 \times 10^{-4}$

$\therefore$ কঠিনের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 0{\cdot}9 \times 10^{-4}/3 = \mathbf{0{\cdot}3 \times 10^{-4}}$

অনুশীলনী

1. তরলের 'প্রকৃত প্রসারণ' ও আপাত প্রসারণ' বলতে কি বোঝ?

2. 'প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক' ও 'আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক'-এর সংজ্ঞা লেখ। উভয়ের পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় কর।

3. কি করে তরলের প্রকৃত ও আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করবে?

4. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ বলতে কি বোঝ? জলের সর্বোচ্চ ঘনত্ব কত ডিগ্রি সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় হয়?

5. হোপের পরীক্ষাটি বিশদ বর্ণনা কর। এই পরীক্ষা থেকে কী গুরুত্বপূর্ণ সিদ্ধান্ত করা যায়?

6. পারদের প্রসারণের ফলে ব্যারোমিটারের পাঠে কি সংশোধন প্রয়োজন? বিষয়টির গাণিতিক আলোচনা কর।

7. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ জলচর প্রাণীর জীবনে কি উপকারে আসে?

8. দেখাও যে, $\gamma_r = \gamma_a + \gamma_g$; $\gamma_r, \gamma_a, \gamma_g$ যথাক্রমে তরলের প্রকৃত, আপাত ও পাত্রের উপাদানের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক।

9. দেখাও যে, $\rho_o = \rho_t \ (1+\gamma t)$; $\rho_o = 0°C$-এ তরলের ঘনাঙ্ক, $\rho_t = t°C$-এ ঘনাঙ্ক, γ = প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক।

10. পারদের প্রকৃত প্রসারণ নির্ণয়ের জন্য রেনোর পদ্ধতি বর্ণনা কর।

11. ভার থার্মোমিটার কি? এর সাহায্যে কি করে তরলের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করা হয়?

12. লম্বা, সূক্ষ্ম ও সমব্যাসের একটি কাঁচ নলে 0°C-এ 1মিটার দীর্ঘ একটি পারদ সূত্র আছে। উষ্ণতা 100°C করলে ঐ পারদ সূত্রের দৈর্ঘ্য 16.5 মি.মি. বেড়ে যায়। পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক 0·000182; কাচের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক কত? **(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1960)** [8.3×10^{-6}]

13. একটি ভার থার্মোমিটারকে 15°C-এ অ্যালকোহল দিয়ে ভর্তি করতে 45 গ্রাম অ্যালকোহল প্রয়োজন। যদি থার্মোমিটারকে 33°C-এ উষ্ণ করা হয় তবে কতটা অ্যালকোহল বেরিয়ে যাবে? অ্যালকোহলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক = ·00121 [0.26 গ্রাম]

14. একটি ভার থার্মোমিটারে 0°C উষ্ণতায় 24 গ্রাম পারদ ভর্তি করা আছে। 100°C উষ্ণতায় আনা হলে দেখা গেল থার্মোমিটারে 23·622 গ্রাম পারদ রয়েছে। পারদের আপাত ও প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। পাত্রের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক = $0{\cdot}63 \times 10^{-6}$. [$16 \times 10^{-5}$; $17{\cdot}989 \times 10^{-5}$]

15. একটি কাচের ফ্লাস্কের ভিতরের আয়তন 630 সি. সি। ঐ ফ্লাস্কে কতটা পারদ ভর্তি করলে ফ্লাস্কের বাকি অংশের আয়তন উষ্ণতার পরিবর্তনেও ঠিক থাকবে? পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক = $1{\cdot}8 \times 10^{-4}$; কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক = $2{\cdot}5 \times 10^{-5}$ [87·5 সি সি.]

16. 0°C উষ্ণতায় পারদের ঘনত্ব 13·6 গ্রাম/সি. সি এবং 100°C উষ্ণতায় 13.35 গ্রাম/সি.সি। পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।
[$1{\cdot}87\times10^{-4}$]

17. একটি কাচপাত্রে 15°C উষ্ণতায় ঠিক 1.00 গ্রাম পারদ ধরে। পাত্রটি 100°C-এর ফুটন্ত জলে রাখা হল। কতটা পারদ পাত্র থেকে বেরিয়ে যাবে? পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক = 0·00018; কাচের দৈর্ঘ্য প্রসারণ = 0.00001। (গৌহাটি 1955)

18. রূপোর তৈরি একটি ব্যারোমিটার স্কেল 0°C-এ সঠিক পাঠ দেখায়। 30°C-এ ব্যারোমিটার স্কেলের পাঠ দেখা গেল 761.05 মিমি। ব্যারোমিটারের সঠিক পাঠ কত? 0°C-এ পারদস্তম্ভের প্রকৃত উচ্চতা কত দাঁড়াবে? রূপোর দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক = 1.9×10^{-5}; পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক = 18×10^{-5}। [761·48 মিমি; 757·39 মিমি]

19. বায়ুতে একখণ্ড কাচের ওজন 48 গ্রাম। 4°C জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন 32·54 গ্রাম এবং 60°C জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ওজন 32·76 গ্রাম। কাচের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাঙ্ক 8×10^{-6} হলে 4°C এবং 60°C উষ্ণতায় জলের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক কত? [$2{\cdot}76\times10^{-4}$]

20. কাচপাত্র ব্যবহার করলে কোন তরলের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক $15{\cdot}5\times10^{-5}$ এবং তামার পাত্র ব্যবহার করলে $13{\cdot}2\times10^{-5}$; তামার $\alpha=1{\cdot}7\times10^{-5}$; কাচের কত? (পঃ বঃ উঃ মাঃ 1963) [9×10^{-6}]

21. একটি কাচের ফ্লাস্কের আভ্যন্তরীণ আয়তনের 3/20 পারদ দ্বারা পূর্ণ। কাচের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক 27×10^{-6} এবং পারদের প্রকৃত প্রসারণ গুণাঙ্ক 180×10^{-6}; প্রমাণ কর যে, উষ্ণতার পরিবর্তনে ফ্লাস্কের আভ্যন্তরীণ বাকী অংশের কোন পরিবর্তন হবে না। (পঃ বঃ উঃ মাঃ 1963)

22. একটি পারদ থার্মোমিটারকে ফুটন্ত জলে সম্পূর্ণ ডোবালে 100°C পাঠ দেখায়। ফুটন্ত জল থেকে বের করে আনা হলে এবং 0° দাগ থেকে নলের ঊর্ধ্বাংশের গড় উষ্ণতা 10° হলে পাঠ পাওয়া গেল 98.6°C; পারদের আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [0.00016]

———

4 চতুর্থ অধ্যায়

গ্যাসের প্রসারণ (Expansion of gases)

4.1 গ্যাসীয় প্রসারণের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of expansion of gases)

তাপে কঠিন ও তরলের ন্যায় গ্যাসও প্রসারিত হয়। গ্যাসীয় প্রসারণের ক্ষেত্রে নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলো লক্ষ্য করা যায় :

(i) গ্যাসের নিজস্ব আকার নেই ; কাজেই তরলের ন্যায় এরও শুধু আয়তন-প্রসারণ হয়, দৈর্ঘ্য বা ক্ষেত্র প্রসারণ সম্ভব নয়। (ii) একই উষ্ণতার পার্থক্যে গ্যাসের প্রসারণ কঠিন ও তরলের চেয়ে অনেক বেশি। (iii) একই তাপ-প্রয়োগে নির্দিষ্ট পরিমাণ যে কোন গ্যাসের প্রসারণ সমান, কিন্তু কঠিন ও তরলের ক্ষেত্রে তা হয় না। (iv) চাপ প্রয়োগে কঠিন ও তরলের সংকোচন এবং চাপ হ্রাসে প্রসারণ নিতান্ত নগণ্য, কিন্তু গ্যাসের সংকোচন প্রসারণে চাপের সামান্য পরিবর্তনও যথেষ্ট পার্থক্য ঘটায়। কাজেই, গ্যাসের প্রসারণের ক্ষেত্রে চাপ ও উষ্ণতা দুই-ই ধরতে হয়। (v) আবদ্ধ পাত্রে গ্যাসকে গরম করলে আয়তন বাড়তে পারে না বলে ঐ গ্যাস আধারের দেওয়ালে চাপ বৃদ্ধি করে। (vi) গ্যাসের প্রসারণের তুলনায় আধারের প্রসারণ এত নগণ্য যে, উপেক্ষা করা হয়।

4.2 গ্যাসের সূত্র (Gas laws)

গ্যাসের প্রসারণের ক্ষেত্রে যে কথা গুরুত্বপূর্ণ তা হল গ্যাসের প্রসারণে **চাপ ও উষ্ণতা দুয়েরই প্রভাব আছে এবং আয়তন, চাপ ও উষ্ণতার মধ্যে নির্দিষ্ট সম্পর্ক আছে।**

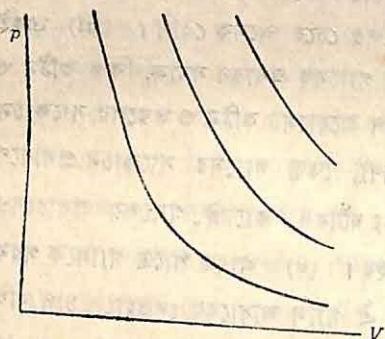
উষ্ণতা নির্দিষ্ট রেখে চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক পাওয়া যায়। একে বলে **বয়েলের সূত্র** (Boyle's law)। চাপ নির্দিষ্ট রেখে পাওয়া যায় উষ্ণতা ও আয়তনের সম্পর্ক। একে বলে **চার্লসের সূত্র** (Charle's law)। আর, কোনটিকেই নির্দিষ্ট না রেখে সবগুলির পরিবর্তন হতে দিলে যে সম্পর্ক পাওয়া যায় তার নাম **গ্যাসের সমীকরণ** (Gas equation)।

4.3 বয়েল সূত্র (Boyle's law)

1662 খ্রীস্টাব্দে ব্রিটিশ বিজ্ঞানী স্যার রবার্ট বয়েল উষ্ণতা নির্দিষ্ট রেখে চাপের তারতম্য ঘটিয়ে গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তন লক্ষ্য করেন এবং পরীক্ষালব্ধ সিদ্ধান্ত নিম্নোক্ত সূত্রাকারে উপস্থিত করেন। বয়েলের নামানুসারে, একে **বয়েল সূত্র** বলে।

উষ্ণতা স্থির রেখে নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের উপর চাপের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটালে ঐ গ্যাসের আয়তন চাপের সঙ্গে ব্যস্ত অনুপাতে পরিবর্তিত হয়।

ধর, নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের অয়েতন $=V$, ঐ গ্যাসের উপর চাপ $=P$। তা হলে সূত্রানুসারে,

উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকলে, $V \propto \frac{1}{P}$. $\quad \therefore PV =$ **ধ্রুবক।**

অর্থাৎ যদি $P_1, P_2, P_3, \cdots$ ইত্যাদি চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন যথাক্রমে $V_1, V_2, V_3, \cdots\cdots$ হয় এবং উষ্ণতা আগাগোড়া অপরিবর্তিত থাকে, তা হলে

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = \cdots\cdots = \text{ইত্যাদি।}$$

P

V

চিত্র 28

$PV=$ধ্রুবক-এই সমীকরণের লেখচিত্র স্পষ্টত একটি সম পরাবৃত্ত (rectangular hyperbola)। চিত্রে T-র তিনটি ধ্রুবমানে তিনটি পরাবৃত্ত দেখানো হয়েছে।

4.4 চার্লসের সূত্র (Charles' law)

1891 খ্রীস্টাব্দে ফরাসী বিজ্ঞানী জ্যাকেস চার্লস স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের আয়তন উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধির সঙ্গে কিরূপে পরিবর্তিত তা লক্ষ্য করেন এবং পরীক্ষালব্ধ সিদ্ধান্ত নিম্নোক্ত সূত্রাকারে উপস্থিত করেন। চার্লসের নামানুসারে একে **চার্লস সূত্র** বলে। 15 বছর পরে ফরাসী বিজ্ঞানী গে-লুসাক (Gay Lussac) স্বাধীনভাবে গ্যাস প্রসারণ সংক্রান্ত গবেষণা থেকে একই সিদ্ধান্তে উপনীত হন। এজন্য একে **গে-লুসাক** সূত্রও বলে।

স্থির চাপে, উষ্ণতার প্রতি 1°C হ্রাস বা বৃদ্ধির জন্য নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের আয়তন ঐ গ্যাসের 0°C উষ্ণতায় যে আয়তন হয় তার 273 ভাগের এক ভাগ হ্রাস বা বৃদ্ধি পায়।

ধর, P চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের 0°C উষ্ণতায় আয়তন V_0। এখন চাপ স্থির রেখে উষ্ণতা 1°C বাড়ালে, চার্লেসের সূত্রানুসারে, আয়তন $V_0/273$ পরিমাণ বেড়ে যাবে। অর্থাৎ এখন নতুন আয়তন দাঁড়াবে $(V_0+V_0/273)$। যদি বৃদ্ধির বদলে উষ্ণতা 1°C কমানো হত তা হলে আয়তন দাঁড়াত $(V_0-V_0/273)$-এ। যদি উষ্ণতা t°C বাড়ানো বা কমানো হতো তা হলে আয়তনের মান দাঁড়াতো যথাক্রমে

$$V_1=V_0+\frac{V_0}{273}\times t=V_0\left(1+\frac{t}{273}\right)=V_0\left(\frac{273+t}{273}\right) \quad \cdots \quad \text{(i)}$$

এবং $$V_2=V_0-\frac{V_0}{273}\times t=V_0\left(1-\frac{t}{273}\right)=V_0\left(\frac{273-t}{273}\right) \quad \cdots \quad \text{(ii)}$$

এই হল চার্লস সূত্রের নির্গলিতার্থ।

4.5 উষ্ণতার পরম স্কেল (Absolute scale of temperature)

চার্লসের সূত্রানুসারে, স্থির চাপে 0°C থেকে t°C উষ্ণতা-হ্রাসে নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের আয়তন হয় $V_t=V_0(1-t/273)$; V_0 হল ঐ গ্যাসের 0°C-এ আয়তন।

তা হলে, উষ্ণতা হিমাঙ্কের 273°C নিচে নামালে ঐ পরিমাণ গ্যাসের আয়তন কত হবে? $V=V_0(1-273/273)=0$!

অর্থাৎ ঐ নিম্ন-উষ্ণতায় চার্লসের সূত্র প্রযুক্ত হলে সূত্রটি শতকরা 100 ভাগ নির্ভুল হলে -273°C উষ্ণতায় যে কোন পরিমাণ গ্যাসের আয়তন শূন্য হয়ে যায়। উষ্ণতা আরও কমালে আয়তন ঋণাত্মক হয়। কিন্তু ঋণাত্মক আয়তন অবাস্তব।

যাই হোক, এ থেকে উষ্ণতা মাপার একটা নতুন স্কেলের সন্ধান মিললো। একে উষ্ণতার **পরম স্কেল** (absolute scale) বা উদ্ভাবকের নামানুসারে **কেলভিন স্কেল** (Kelvin scale) বলা হয়। এই স্কেলের শূন্য দাগ -273°C, কেননা এই উষ্ণতার চেয়ে কম উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন ঋণাত্মক হয় অর্থাৎ -273°C সর্বনিম্ন উষ্ণতা। পরম স্কেলের এই শূন্যকে **পরম শূন্য** (absolute zero) বলে। পরম স্কেলে উষ্ণতাকে বড় হাতের

T দ্বারা সূচিত করা হয় এবং মানের শেষে °K বা °A লেখা হয়। পরম স্কেলের শূন্য $-273°C$ হওয়ায়

$$\text{হিমাঙ্ক} = 0°C = 273°K$$

$$\text{স্ফুটনাঙ্ক} = 100°C = 373°K$$

$$\text{এবং যে কোন উষ্ণতা } t°C = (t+273)\ °K$$

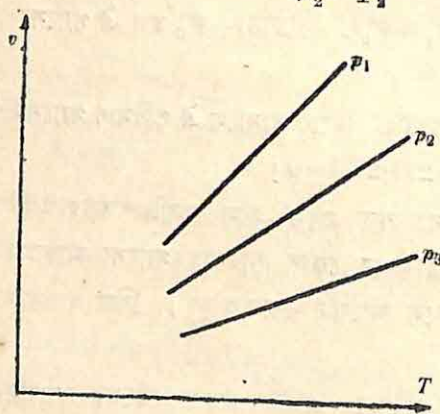
∴ **পরম স্কেলের উষ্ণতার মান = সেলসিয়াস পাঠ + 273**

4.6 **চার্লস সূত্রের অন্যরূপ** (Another form of Charles' law) সেলসিয়াস স্কেলের মতো, বরফ বিন্দু (0°C) এবং স্টীম বিন্দুর (100°C) মধ্যে পরম স্কেলও 100 সমান অংশ বা ডিগ্রিতে বিভক্ত। ফলে **কেলভিন স্কেলে 1° উষ্ণতা পার্থক্য = সেলসিয়াস স্কেলে 1° উষ্ণতা পার্থক্য।**

উষ্ণতাকে পরম স্কেলে প্রকাশ করলে লেখা যায়,

$$V_1 = \frac{V_0 \times T_1}{273} \text{ এবং } V_2 = \frac{V_0 \times T_2}{273} \quad (\because \quad T = 273 + t)$$

V_1, V_2, V_0 হল যথাক্রমে t_1°C, t_2°C এবং 0°C-এ স্থিরচাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{বা} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

একইভাবে দেখানো যায়,

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \text{ইত্যাদি।}$$

অর্থাৎ $V \propto T$, যখন P = ধ্রুবক।

স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের আয়তন পরম স্কেলে প্রকাশিত উষ্ণতার সমানুপাতী। চার্লস সূত্রের এটি একটি প্রয়োজনীয় ও গুরুত্বপূর্ণ বিকল্প রূপ।

v
p_1
p_2
p_3
T

চিত্র 29

$V \propto T$ অর্থাৎ $V = KT$ (K = ধ্রুবক)। এই সমীকরণের লেখচিত্র স্পষ্টত একটি সরলরেখা। 29নং চিত্রে চাপ P-র তিনটি ধ্রুবমানে (P_1, P_2, P_3) তিনটি সরলরেখা দেখানো হয়েছে।

4.7 আদর্শ গ্যাস সমীকরণ (Ideal gas equation)

গ্যাসের চাপ ও উষ্ণতা দুই-ই যদি একই সঙ্গে পরিবর্তিত হয় তবে আয়তনের পরিবর্তন কিরূপ হবে? স্পষ্টত চার্লস ও বয়েল সূত্রের সমন্বয়ের দ্বারা তা নির্ণীত হবে।

প্রথমত, বয়েল সূত্রানুসারে, $V \propto \frac{1}{P}$, যখন উষ্ণতা T=ধ্রুবক।

দ্বিতীয়ত, চার্লস সূত্রানুসারে, $V \propto T$, যখন চাপ P=ধ্রুবক।

$\therefore$ গাণিতিক নিয়মানুসারে, $V \propto \frac{T}{P}$ যখন T ও P পরিবর্তিত হয়।

$\therefore$ এক্ষেত্রে $\frac{PV}{T}$=ধ্রুবক=R, ধর ; $\therefore$ $\mathbf{PV=RT}$ ... (iii)

নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের আয়তন যদি T_1, T_2, T_3 ... পরম উষ্ণতায় এবং P_1, P_2, P_3, ... চাপে যথাক্রমে V_1, V_2, V_3, ... হয় তবে (iii) সমীকরণ থেকে

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}=\frac{P_3V_3}{T_3}=R \quad \cdots \quad \text{(iv)}$$

যে গ্যাস বয়েল ও চার্লসের সূত্র মেনে চলে তাকে **আদর্শ গ্যাস** (**ideal** বা **perfect gas**) বলে। এই কারণে বয়েল ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় লব্ধ (iv) নং সমীকরণকে **আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ** (**Equation of state of an ideal gas**) বলে। গ্রাম-অণু পরিমাণ গ্যাসের ক্ষেত্রে R-কে বলা হয় **সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক** (**Universal gas constant**) ; R-এর মান গ্যাসের ভরের উপর নির্ভর করে। তা ছাড়া P, V, T-এর এককের উপর R-এর আঙ্কিক মান নির্ভরশীল।

দ্রষ্টব্য : কোন গ্যাসই সকল উষ্ণতায় বা চাপে বয়েল বা চার্লস সূত্র পুরোপুরি মেনে চলে না। ফলে কোন বাস্তব গ্যাস গ্যাস-সমীকরণও পুরোপুরি মানে না। সে হিসাবে **আদর্শ গ্যাস নিছক কল্পনামাত্র**। হাইড্রোজেন, হিলিয়ম, অক্সিজেন এবং নাইট্রোজেন প্রমুখ তথাকথিত **স্থায়ী গ্যাস** (**permanent gases**) নিম্ন চাপে আদর্শ গ্যাস সমীকরণকে মোটামুটি মেনে চলে।

4.8 গ্যাসের প্রসারণ গুণাঙ্ক (Co-efficient of expansion of gases)

আমরা দেখেছি, তাপের হ্রাসবৃদ্ধিতে গ্যাসের আয়তনের হ্রাসবৃদ্ধি হতে

হতে পারে, আবার চাপের হ্রাসবৃদ্ধিও হতে পারে। ফলে গ্যাসের গুণাঙ্ক দু-প্রকার : আয়তন গুণাঙ্ক ও চাপ গুণাঙ্ক।

প্রথমত, চাপ স্থির রেখে উষ্ণতার হ্রাসবৃদ্ধিতে আয়তনের যে হ্রাসবৃদ্ধি তার জন্য একটি গুণাঙ্ক—**আয়তন গুণাঙ্ক** (volume co-efficient) এবং দ্বিতীয়ত, আয়তন স্থির রেখে উষ্ণতার যে হ্রাসবৃদ্ধি তার জন্য একটি গুণাঙ্ক—**চাপ গুণাঙ্ক** (pressure co-efficient)।

আয়তন গুণাঙ্ক : নির্দিষ্ট চাপে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের উষ্ণতা 0°C থেকে 1°C বাড়ালে প্রতি একক আয়তনে যে আয়তন-বৃদ্ধি ঘটে তাকে ঐ গ্যাসের **আয়তন গুণাঙ্ক** বলে।

ধর, V_o=0°C-এ নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের আয়তন

V_t=t°C উষ্ণতায় ঐ গাসের আয়তন

∴ আয়তন বৃদ্ধি$=V_t-V_o$; উষ্ণতার বৃদ্ধি$=t-0=t$°C

∴ সংজ্ঞানুসারে, আয়তন গুণাঙ্ক$=\dfrac{\text{আয়তন বৃদ্ধি}}{\text{উষ্ণতার বৃদ্ধি}\times 0°\text{C এ আয়তন}}$

$$\text{বা,}\quad \gamma_p=\frac{\mathbf{V}_t-\mathbf{V}_o}{\mathbf{V}_o\mathbf{t}} \qquad \therefore\ \mathbf{V}_t=\mathbf{V}_o(1+\gamma_p\mathbf{t})$$

রেণোর পরীক্ষা থেকে $\gamma_p=\frac{1}{273}$ / °C বা 0 00366/°C ; এই মান প্রায় সকল গ্যাসের পক্ষে মোটামুটি সত্যি। আলোচনায় সর্বদা এই মানই ব্যবহার করা হবে। 4.4 অনুচ্ছেদে চার্লস সূত্রে এই মান ব্যবহার করে সূত্রটি দেওয়া হয়েছে।

চাপ গুণাঙ্ক : নির্দিষ্ট আয়তনে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের উষ্ণতা 0°C থেকে 1°C বাড়ালে প্রতি একক চাপে যে চাপ বৃদ্ধি ঘটে তাকে ঐ গ্যাসের **চাপ গুণাঙ্ক** বলে।

ধর, নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের চাপ 0°C-এ P_o এবং t°C-এ P_t।

∴ চাপের বৃদ্ধি$=P_t-P_o$; উষ্ণতার বৃদ্ধি$=t-0=t$°C

∴ সংজ্ঞানুসারে, চাপ গুণাঙ্ক $=\dfrac{\text{চাপ বৃদ্ধি}}{\text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}\times 0°\text{C এ চাপ}}$

$$\text{বা,}\quad \gamma_v=\frac{\mathbf{P}_t-\mathbf{P}_o}{\mathbf{P}_o\mathbf{t}} \qquad \therefore\ \mathbf{P}_t=\mathbf{P}_o(1+\gamma_v\mathbf{t})$$

পরীক্ষা থেকে দেখা যায় যে, প্রায় সকল গ্যাসের পক্ষেই γ_v-র মান$=\frac{1}{273}$

4.9 দুই গুণাঙ্কের সম্পর্ক (Relation between two co-efficients)

ধর, নির্দিষ্ট P_o চাপে 0°C এ নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন $=V_o$

ঐ " " t°C ঐ গ্যাসের আয়তন $=V_t$

$\therefore \quad V_t = V_o(1+\gamma_p t) \quad \cdots \quad$ (vi)

এবারে উষ্ণতা t°C এ স্থির রাখ এবং গ্যাসের চাপ P_o থেকে বাড়াতে থাক। আয়তন কমতে থাকবে। আয়তন যখন পূর্বমান V_o-তে এল তখন চাপের মান, ধর, P_t.

$\therefore$ বয়েল সূত্রানুসারে, $P_0 V_t = P_t V_o \quad \cdots \quad$ (vii)

$\therefore$ (vi) ও (vii) থেকে : $P_0 V_0(1+\gamma_p t) = P_t V_0$

বা, $P_t = P_0(1+\gamma_p t)$

কিন্তু γ_v চাপ গুণাঙ্ক হলে, $P_t = P_0(1+\gamma_v t)$;

$\therefore \gamma_p = \gamma_v$ অর্থাৎ **আয়তন গুণাঙ্ক = চাপ গুণাঙ্ক**

এই গুণাঙ্কের মান 1/273=0·00366 (চার্লস সূত্র দেখ)

লক্ষ্য কর যে, উপরের সম্পর্ক নির্ণয়ে বয়েল সূত্রের সত্যতা ধরে নেওয়া হয়েছে। কাজেই $\gamma_p = \gamma_v$ একথা আদর্শ গ্যাসের পক্ষেই সত্যি। বাস্তব গ্যাসগুলোর ক্ষেত্রে এর কিছুটা হেরফের হয়।

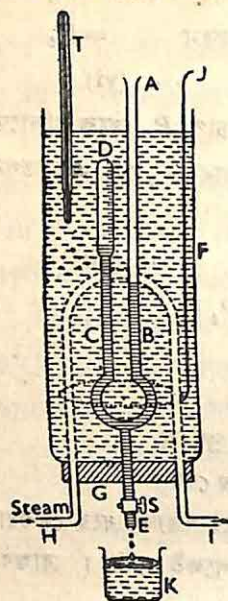
তালিকা 4.1 : আয়তন ও চাপ গুণাঙ্ক

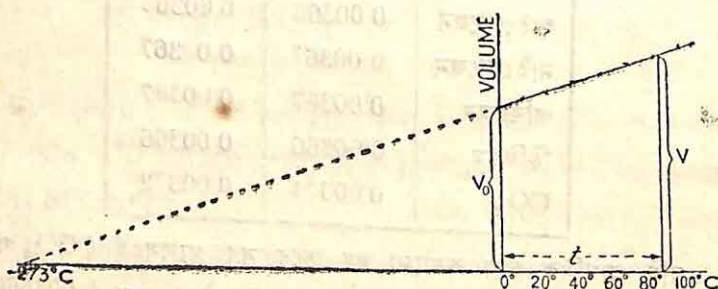
গ্যাস	γ_p	γ_v
বায়ু	0·00367	0·00367
হাইড্রোজেন	0·00366	0 00366
নাইট্রোজেন	0·00367	0 00367
অক্সিজেন	0·00367	0·00367
হিলিয়ম	0·00366	0 00366
CO_2	0·00374	0 00372

যদি প্রাথমিক চাপ কমানো হয় তবে সব গ্যাসেরই (CO_2 পর্যন্ত) γ_p ও γ_v-এর মান সমান হয়ে আসে। এই সীমা মান 0·0036608 বা 1/273·16 / °C.

4.10 আয়তন গুণাঙ্কের মান নির্ণয় (Determination of γ_p)

এজন্য প্রয়োজনীয় যন্ত্রটি হল একটি একমুখ খোলা (A) ও অপর মুখে (D)

একটা বালব-লাগানো U-নল। U-নলের নিচের দিকে ছিপি-আঁটা আরো একটি নল E লাগানো থাকে। U-নলটি চিত্রে প্রদর্শিত অবস্থায় সম্পূর্ণরূপে একটা বড় কাচের পাত্রে (F) এমনভাবে রাখা হয় যে, E নলটি G কর্কের একটা ছিদ্র দিয়ে বেরিয়ে থাকে। HI একটি তামার নল। এটি কর্কের ভিতর দিয়ে উল্টানো U-আকারে প্রবেশ করানো থাকে। কাচপাত্রে পর্যাপ্ত জল ঢেলে D বালবটিকে জলে ডুবিয়ে রাখা হয়। D বালবটি এবং ওর ঠিক নিচে নলের কিছু অংশে আয়তন জ্ঞাপক অংশাঙ্কন করা থাকে।

চিত্র 30

পরীক্ষার আগে বালব ও নলটির কিছু অংশ পরীক্ষাধীন গ্যাসে ভর্তি করা থাকে। নিচের অংশে (CB) থাকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড। খোলা মুখ দিয়ে অ্যাসিড ঢেলে বা E নলের ছিপি S খুলে অ্যাসিড বের করে দিয়ে U-নলের দুই বাহুতে অ্যাসিড তল সমান উঁচু করা হয়। এ অবস্থায় বালবের ভিতরের গ্যাস বায়ুচাপে রয়েছে। থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের উষ্ণতা t_1°C এবং তখন ভিতরের গ্যাসের আয়তন V_1-এর পাঠ নাও। এবারে তামার নল দিয়ে কিছু স্টীম পাঠাও। জলের উষ্ণতা বাড়বে। মাঝে মাঝে আলোড়ক দিয়ে জল নাড়িয়ে জলের

চিত্র 31

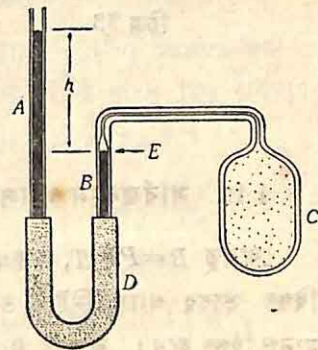
উষ্ণতা সর্বত্র সমান কর। অনেকক্ষণ ধরে (প্রায় 10 মিনিট) উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকার পর বর্ধিত উষ্ণতা t_2°C-র পাঠ নাও। দেখ, গরমে ভিতরের গ্যাসের

আয়তন বেড়ে অ্যাসিডকে খানিকটা ঠেলে দিয়েছে। E নল দিয়ে অ্যাসিড বের করে দু-বাহুর অ্যাসিড তল সমান কর (অর্থাৎ ভিতরের গ্যাসকে আবার বায়ুচাপে আন) এবং গ্যাসের আয়তন V_2-র পাঠ নাও।

এভাবে চাপ অপরিবর্তিত রেখে (এখানে চাপ সর্বদাই বায়ুচাপ) বিভিন্ন উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন নিরূপণ কর। তারপর উষ্ণতা বনাম আয়তনের লেখচিত্র আঁক (উষ্ণতা অনুভূমিক অক্ষে, আয়তন উল্লম্ব অক্ষে)। দেখ, লেখটি একটি সরলরেখা (চিত্র 31)। অর্থাৎ **চার্লস সূত্রের সত্যতা পরীক্ষিত হল**। লেখটিকে বর্ধিত করে লেখচিত্র থেকে 0°C-এ আয়তন V_o জানা যায়। এখন ঐ সরলরেখার উপর যে কোন বিন্দু নিয়ে উষ্ণতা অক্ষের উপর লম্ব টেনে যে কোন একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতা t°C-এ আয়তন V_t জানা যাবে।

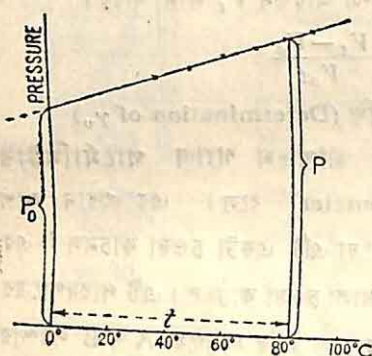
$$\therefore \quad \gamma_p = \frac{V_t - V_o}{V_o t}$$

4 11 চাপ গুণাঙ্কের মান নির্ণয় (Determination of γ_v)

এজন্য প্রয়োজনীয় যন্ত্রটিকে **স্থির আয়তন গ্যাস থার্মোমিটার** **(Constant volume gas thermometer)** বলে। এর প্রধান অংশ একটি বালব C; কৈশিক নলের সাহায্যে এটি একটা চওড়া কাচনল B-এর সঙ্গে যুক্ত। A হল দ্বিতীয় একটি দু-মুখ খোলা চওড়া কাচনল। এটি পারদপাত্রের কাজ করে। মোটা দেওয়ালের রবার নল D-র সাহায্যে A ও B পরস্পর যুক্ত। একটি স্কেলযুক্ত উল্লম্ব স্ট্যাণ্ডের সাহায্যে (চিত্রে নেই) এদের ওঠানো বা নামানো চলে; স্ট্যাণ্ডের যে কোন স্থানে আটকানোও যায়। D-কে উঠিয়ে-নামিয়ে B-র পারদতল সর্বদা একটি চিহ্নিত দাগ E-তে (কৈশিক নল ও B-নলের সংযোগ স্থলের কাছে) আনা হয়। ফলে, পরীক্ষাধীন গ্যাস সর্বদা স্থির আয়তনে থাকে। A ও B নলের পারদ তলের উচ্চতার পার্থক্য h স্ট্যাণ্ডের স্কেল থেকে সহজেই জানা যায়।

চিত্র 32

প্রথমে C-কে একটি জলগাহে (water bath) ডোবাও। জলগাহের উষ্ণতা t_1°C একটি থার্মোমিটারের সাহায্যে জেনে নাও। তারপর B-নলের

পারদতল চিহ্নিত দাগে এনে A ও B নলের পারদ তলের উচ্চতার পার্থক্য h_1-এর পাঠ নাও। যদি B_o=পরীক্ষাকালীন বায়ুচাপ (পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্যে প্রকাশিত) হয় তবে C-বালবে গ্যাসের চাপ$=B_o+h_1=P_1$ সেমি পারদস্তম্ভ।

এবারে বার্নারের সাহায্যে জলগাহ গরম করে উষ্ণতা t_2°C কর। দেখ, B নলের পারদ তল চিহ্নিত দাগ থেকে নিচে নেমে গেছে। বেশ কিছুক্ষণ (প্রায় 10 মিনিট) উষ্ণতা স্থির রেখে B নলের পারদতল পূর্ব চিহ্নে নিয়ে এস এবং A ও B নলের পারদ তলের উচ্চতার পার্থক্য h_2-র পাঠ নাও। অতএব এখন গ্যাসের চাপ$=B_o+h_2=P_2$ সেমি পারদস্তম্ভ।

চিত্র 33

এভাবে স্থির আয়তনে কয়েকটি উষ্ণতায় আনুষঙ্গিক চাপ স্থির কর এবং উষ্ণতা বনাম চাপ-এর লেখচিত্র আঁক। লেখচিত্র একটি সরলরেখা। সরলরেখাটি বাড়িয়ে 0°C উষ্ণতায় চাপ P_o জেনে নাও। তারপর লেখ-র উপরে যে কোন বিন্দু নিয়ে যে কোন একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতা t°C-এ চাপ P_t জেনে নাও।

$$\therefore \quad \gamma_v=\frac{P_t-P_o}{P_o t}$$

4 12 সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক (Universal gas constant)

যেহেতু $R=PV/T$, অতএব P ও T-কে অপরিবর্তিত রেখে আমরা যদি দ্বিগুণ ভরের গ্যাস নিই, তবে V দ্বিগুণ হবে এবং সেই সঙ্গে R এর মানও দ্বিগুণ হবে। **কাজেই R-এর মান গ্যাসের ভরের সমানুপাতী।**

যখন 1 গ্রাম-অণু ভরের গ্যাস নেওয়া হয় তখন ধ্রুবকটির যে মান হয় তাকে **গ্রাম-আণবিক গ্যাস ধ্রুবক (gram-molecular gas constant)** বা **সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক (Universal gas constant)** R_o বলা হয়। **গ্যাসের প্রকৃতি নিরপেক্ষভাবে R_o-র মান ধ্রুবক।**

R_0-র মান (Value of R_0)

ধর, $P_0 = 1$ প্রমাণ বায়ুমণ্ডলীয় চাপ $= 1{\cdot}013 \times 10^6$ ডাইন/বর্গ সেমি.

$T_0 =$ প্রমাণ উষ্ণতা $= 273°K$

$V_0 =$ প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় 1 গ্রাম-অণু গ্যাসের (আদর্শ) আয়তন

$= 22{\cdot}4$ লিটার

$$\therefore \quad R_0 = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{1{\cdot}013 \times 10^6 \times 22{\cdot}4 \times 1000}{273}$$

$= 8{\cdot}31 \times 10^7$ আর্গ $/°K \times$ গ্রাম-অণু

স্পষ্টত n-গ্রাম-অণু ভরের গ্যাস নেওয়া হলে গ্যাস সমীকরণের রূপ :

$$PV = nR_0 T = \frac{m}{M} R_0 T \qquad \cdots \text{(i)}$$

($m =$ গ্যাসের ভর, $M =$ আণবিক গুরুত্ব)

$$\therefore \quad \frac{PV}{mT} = \frac{R_0}{M} \qquad \cdots \text{(ii)}$$

$\therefore$ একক ভরের ক্ষেত্রে গ্যাস ধ্রুবকের মান $= R_0/M$

যখন **একই গ্যাসের বিভিন্ন** ভর নেওয়া হয় তখন (ii) থেকে

$$\frac{P_1 V_1}{m_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{m_2 T_2} \qquad \cdots \text{(iii)}$$

বিভিন্ন ভর-ঘটিত সমস্যাদির ক্ষেত্রে (iii) নং সমীকরণের কার্যকারিতা বেশি।

4.13 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. 15°C উষ্ণতায় এবং একটি নির্দিষ্ট চাপে কিছু পরিমাণ গ্যাসে তাপ দিয়ে আয়তন দ্বিগুণ করা হল। তখন উষ্ণতা কত হবে ?

অপরিবর্তিত চাপে, গ্যাস সমীকরণ : $\dfrac{V_1}{T_1} = \dfrac{V_2}{T_2}$

এক্ষেত্রে $V_2 = 2V_1$ এবং $T_1 = 15 + 273 = 288°K$

$$\therefore \quad \frac{V_1}{288} = \frac{2V_1}{T_2} \quad \therefore \quad T_2 = \frac{288 \times 2V_1}{V_1} = 576°K$$

$\therefore$ নির্ণেয় উষ্ণতা $= (576 - 273)°C = 303°C$

উদা. 2. কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন 47°C উষ্ণতায় এবং 75 সেমি পারদস্তম্ভের চাপে 640 সি.সি। প্রমাণ উষ্ণতা ও চাপে আয়তন কত হবে ?

এখানে $P_1=75$ সেমি. পারদস্তম্ভ $P_2=76$ সেমি. পারদস্তম্ভ

$V_1=640$ সি. সি. $V_2=?$

$T_1=273+47=320°K$ $T_2=273°K$

$\therefore \frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}$ থেকে : $V_2=\frac{P_1V_1T_2}{P_2T_1}=\frac{75\times640\times273}{76\times320}$

$=539$ সি. সি.

উদা. 3. একটি মোটর গাড়ির টায়ারের আয়তন 15 লিটার এবং এতে 17°C উষ্ণতায় ও বায়ুচাপের 2.5 গুণ চাপে বায়ু রয়েছে। উষ্ণতা 37°C হলে আয়তন বৃদ্ধি পেয়ে 15.5 লিটার হয়। আনুষঙ্গিক চাপ পাউণ্ড/বর্গ ইঞ্চে নির্ণয় কর। বায়ু চাপ 14·5 পাউণ্ড/বর্গইঞ্চি। (ইঞ্জি ঃ অ্যাড্ টেস্ট 1962)

প্রাথমিক চাপ $P_1=2{\cdot}5\times14{\cdot}5$ পাউণ্ড/ইঞ্চি^{2}

প্রাথমিক আয়তন $V_1=15$ লিটার

প্রাথমিক উষ্ণতা $T_1=273+17=290°K$

পরবর্তী চাপ $P_2=?$

পরবর্তী আয়তন $V_2=15.5$ লিটার

পরবর্তী উষ্ণতা $T_2=273+37=310°K$

$\therefore \frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}$ সূত্র থেকে

$P_2=\frac{P_1V_1}{V_2}\cdot\frac{T_2}{T_1}=\frac{2{\cdot}5\times14.5\times15}{15.5}\cdot\frac{310}{290}=37{\cdot}5$ পাউণ্ড/ইঞ্চি^{2}

উদা. 4. 20°C উষ্ণতায় একটি ফ্লাস্কে কিছু পরিমাণ বায়ু কর্কের সাহায্যে আবদ্ধ করা হল। বায়ুর চাপ 1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ। ফ্লাস্কের ভিতরের বায়ুচাপ 1.7 বায়ুমণ্ডলীয় চাপের সমান হলে কর্কটি ছিটকে বেরিয়ে যাবে। কোন্ উষ্ণতায় এই কাণ্ড ঘটবে? (ইঞ্জি. অ্যাড্ টেস্ট, 1965)

ধর, নির্ণেয় উষ্ণতা x°C ;

আয়তন অপরিবর্তিত থাকলে, কার্যকরী চাপ ও উষ্ণতার সূত্র $\frac{P_1}{T_1}=\frac{P_2}{T_2}$

এক্ষেত্রে $P_1=1$ বায়ুমণ্ডল ; $T_1=273+20=293°K$

$P_2=1{\cdot}7$ বায়ুমণ্ডল $T_2=(273+x)°K$

$\therefore \frac{1}{293}=\frac{1{\cdot}7}{273+x}$ বা, $273+x=293\times1{\cdot}7$

$\therefore x=293\times1{\cdot}7-273=498{\cdot}1-273=\mathbf{225{\cdot}1°C}$

উদা. 5. একটি ইলেকট্রনিক ভ্যাকুয়াম টিউব প্রস্তুতকালে 27°C উষ্ণতায় এবং $1{\cdot}2\times10^{-6}$ সেমি চাপে টিউবকে সীল করা হল। টিউবের আয়তন 100 সি. সি। টিউবে যে কটি গ্যাস-অণু রইল তার সংখ্যা কত? অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা (অর্থাৎ প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় যে কোন গ্যাসের 22·4 লিটারে অণুর সংখ্যা) $=6{\cdot}02\times10^{23}$ (**ইঞ্জি. অ্যাড. টেস্ট. 1967**)

ধর, নির্ণেয় অণুর সংখ্যা $=x$

$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}$ সমীকরণ থেকে $\frac{P_1}{D_1T_1}=\frac{P_2}{D_2T_2}$

$D_1=T_1$-উষ্ণতায় ঘনাঙ্ক এবং $D_2=T_2$-উষ্ণতায় ঘনাঙ্ক

এখানে $P_1=76$ সেমি, $T_1=273°K$, $P_2=1{\cdot}2\times10^{-6}$ সেমি, $T_2=273+27=290°K$

কিন্তু $D_1=\frac{6{\cdot}02\times10^{23}}{22{\cdot}4\times10^3}$; $D_2=\frac{x}{100}$

$$\therefore \quad \frac{76\times22{\cdot}4\times10^3}{6{\cdot}02\times10^{23}\times273}=\frac{1{\cdot}2\times10^{-6}\times100}{x\times290}$$

সমাধান করে, $x=3{\cdot}8\times10^{13}$

উদা. 6. একটি সরু সুষম রন্ধ্রের কাচনলে 4 সেমি দীর্ঘ পারদসূত্র এবং নলের বদ্ধমুখের মধ্যে 27°C উষ্ণতায় কিছু বায়ু আছে। নলের অন্যমুখ খোলা। খোলামুখ উপরে রেখে নলকে খাড়াভাবে ধরলে আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য 9 সেমি হয়। নলকে উল্টে ধরলে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য হয় 10 সেমি। কোন এক সময় নলের উল্টানো অবস্থায় বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য 9 সেমি হলে উষ্ণতা কত?

(**আই. আই. টি 1964**)

ধর, বায়ুচাপ $=P$ সেমি. পারদস্তম্ভ; নলের প্রস্থচ্ছেদ $=\alpha$ বর্গ সেমি.

$\therefore$ প্রথমে বায়ুস্তম্ভের আয়তন $=9\alpha$; ওর চাপ $=(P+4)$ সেমি পারদস্তম্ভ। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বায়ুস্তম্ভের আয়তন $=10\alpha$; চাপ $=(P-4)$ সেমি পারদস্তম্ভ উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকায়, বয়েল সূত্র থেকে,

$(P+4)\times9\alpha=(P-4)\times10\alpha$ বা, $9P-36=10P-40$

$\therefore \quad P=76$ সেমি পারদস্তম্ভ।

উল্টানো অবস্থায় যখন বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য 9 সেমি, তখন বায়ুরচাপ $= P - 4 = 76 - 4 = 72$ সেমি. পারদস্তম্ভ। এই চাপ পূর্ব-চাপের সমান। কাজেই, চাপ অপরিবর্তিত থাকলে প্রযুক্ত গ্যাস সমীকরণ $V_1/T_1 = V_2/T_2$ থেকে

$$T_2 = \frac{V_2 T_1}{V_1} = \frac{9\alpha}{10\alpha}(273+27) = \frac{9}{10} \times 300 = 270°K$$

$[\because\ V_2 = 9\alpha,\ V_1 = 10\alpha,\ T_1 = (273+27)°K]$

$\therefore$ নির্ণেয় উষ্ণতা $= (270 - 273)°C = -3°C$

উদা. 7. p চাপে এবং 27°C-এ v-আয়তনের একটি বেলুনে m-ভরের একটি গ্যাস রয়েছে। গ্যাস পাম্প করে বেলুনের আয়তন দ্বিগুণ এবং চাপ তিন গুণ করা হল। এর ফলে উষ্ণতা 15°C বেড়ে গেল। ভরের বৃদ্ধি ও পূর্বভরের অনুপাত নির্ণয় কর।

এখানে $P_1 = p,\ P_2 = 3p\ ;\ V_1 = v,\ V_2 = 2v$

$$T_1 = (273+27)°K\ ;\ T_2 = (273+27+15)°K$$

$$m_1 = m\ ;\ m_2 = m'$$

$\therefore\ \dfrac{P_1 V_1}{m_1 T_1} = \dfrac{P_2 V_2}{m_2 T_2}$ সূত্র থেকে

$$\frac{m'}{m} = \frac{3p.2v}{315} \times \frac{300}{pv} = \frac{6 \times 300}{315}$$

$$\therefore\ \frac{m' - m}{m} = \frac{1800 - 315}{315} = \frac{1484}{315} = \frac{33}{7}$$

অনুশীলনী

1. গ্যাসের 'আয়তন গুণাঙ্ক' বলতে কি বোঝ? কি করে পরীক্ষার সাহায্যে এর মান নির্ণয় করবে?

2. গ্যাসের 'চাপ গুণাঙ্ক' কি? আয়তন গুণাঙ্কের সঙ্গে এর সম্পর্ক কি? কি করে পরীক্ষার সাহায্যে চাপ গুণাঙ্ক নির্ণয় করা হয়?

3. দেখাও যে, যে আদর্শ গ্যাসের আয়তন গুণাঙ্ক ও চাপ গুণাঙ্ক সমান।

4. বয়েলের সূত্র ও চার্লসের সূত্র বল। সূত্র দুটির প্রয়োগে PV/T = ধ্রুবক সমীকরণটি প্রতিষ্ঠিত কর।

5. চার্লস সূত্র থেকে দেখাও যে, কোন একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন শূন্যে দাঁড়ায়। এ থেকে 'চরম শূন্য উষ্ণতা' ও 'উষ্ণতার চরম স্কেল'-এর সংজ্ঞা দাও।

6. গ্যাসের চাপ, আয়তন ও উষ্ণতার পরিবর্তন সংক্রান্ত সূত্রাবলীর উল্লেখ কর। দেখাও যে, একটিমাত্র সমীকরণের সাহায্যে ওদের প্রকাশ করা চলে।

7. 'আদর্শ গ্যাস' বলতে কি বোঝ? আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্র $PV=RT$ সমীকরণটি প্রতিষ্ঠিত কর।

8. সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক কি? বিভিন্ন ভরের বিভিন্ন গ্যাসের ক্ষেত্রে কি এটি একটি পরম ধ্রুবক? তোমার উত্তরের পক্ষে যুক্তি দেখাও। R_0-এর মান কত? (কঃ বিঃ 1957)

9. উষ্ণতার পরম স্কেল বলতে কি বোঝ? আদর্শ গ্যাস স্কেল থেকে কি এটি আলাদা? (কঃ বিঃ 1953)

10. নামোল্লেখ করে (i) আয়তন ও উষ্ণতা এবং (ii) আয়তন ও চাপ সংক্রান্ত গ্যাস সূত্রগুলো লেখ। এ থেকে স্থির আয়তনে চাপ ও উষ্ণতার সূত্রটি প্রতিষ্ঠিত কর। কি করে শেষোক্ত সূত্রপরীক্ষা করবে?

11. বয়েল ও চার্লস সূত্রের সত্যতা পরীক্ষামূলকভাবে যাচাই করার একটি ব্যবস্থার উল্লেখ কর।

12. চাপ অপরিবর্তিত রেখে 1 লিটার বায়ুকে 27°C থেকে 177°C উষ্ণ করা হল। ঐ বায়ুর আয়তন নির্ণয় কর। [1·5 লিটার]

13. প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় হাইড্রোজেনের ঘনত্ব 0·00009 গ্রাম/সি.সি হলে 1 গ্রাম হাইড্রোজেনের ক্ষেত্রে গ্যাস-ধ্রুবকের মান নির্ণয় কর।

[$4{\cdot}12\times10^7$ আর্গ / °K গ্রাম]

14. একটি নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ 33°C-এ 75 সেমি. পারদস্তম্ভের সমান। যদি আয়তন অপরিবর্তিত রেখে গ্যাসটিকে গরম/ঠাণ্ডা করা হয় তবে কোন্ উষ্ণতায় চাপ (i) দ্বিগুণ (ii) অর্ধেক হবে? [339°C ; −120°C]

15. প্রমাণ উষ্ণতা ও চাপে 1 লিটার শুকনো বায়ুর ওজন 1·29 গ্রাম। 115°C-এ এবং 4 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে 2 লিটার বায়ুর ওজন কত? [7.26 গ্রাম]

16. একটি কাচপাত্রে 60°C-এ বায়ু রয়েছে। চাপ অপরিবর্তিত রেখে গরম করলে কোন্ উষ্ণতায় পাত্রের এক তৃতীয়াংশ বায়ু বেরিয়ে যাবে?

(কঃ বিঃ 1954) [226·5°C]

17. 13°C উষ্ণতায় এবং একটি নির্দিষ্ট চাপে কিছু পরিমাণ গ্যাসকে গরম করায় আয়তন দ্বিগুণ হল। তখন উষ্ণতা কত ? (উৎকল) [299°C]

18. 27°C উষ্ণতায় এবং 740 মিমি পারদের চাপে কিছু পরিমাণ গ্যাসের আয়তন 400 সি.সি। যদি উষ্ণতা 0°C এবং চাপ 760 মিমি. হয় তবে ঐ গ্যাসের আয়তন কত হবে ? [354·4 সি.সি.]

19. একটি পাতলা কাচের কুণ্ড 27°C-এ সীল করা হল। ওর আভ্যন্তরীণ চাপ 1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ। কুণ্ডটি সর্বোচ্চ যে তাপ সহ্য করতে পারে তা 95 সেমি. পারদস্তম্ভের সমান। কোন্ উষ্ণতায় কুণ্ডলী ফেটে যাবে ? [102°C]

20. স্থির চাপে 1 লিটার বায়ুর উষ্ণতা 0°C থেকে 35°C করলে আয়তন 128 সি.সি. বেড়ে যায়। চরম শূন্যের মান বের কর। [−273°C]

21. 10°C উষ্ণতায় একটি গ্যারেজে টায়ার পরীক্ষা করে দেখা গেল, চাপ=25 পাউণ্ড-ভার/বর্গ ইঞ্চি। টায়ারটি বাইরে রোদে রেখে দেওয়ায় যখন উষ্ণতা 37°C হল তখন চাপ কত হবে ? আয়তন অপরিবর্তিত ধর। বায়ুমণ্ডলের চাপ=15 পাউণ্ড ভার/বর্গ ইঞ্চি। [.9 পাউণ্ড ভার/ইঞ্চি²]

22. সংনমিত বায়ুসংরক্ষণের উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত একটি পাত্রে একটি ভালব আছে। 140 পাউণ্ড-ভার/ইঞ্চি² চাপে ভালবটি খুলে যায়। পাত্রে 17°C উষ্ণতায় এবং 125 পাউণ্ড-ভার/বর্গ ইঞ্চি চাপে বায়ু রাখা আছে। পাত্রকে গরম করলে কোন্ উষ্ণতায় ভালবটি খুলবে ? [518°C]

23. একটি স্থির আয়তন গ্যাস থার্মোমিটার 0°C এবং 100°C উষ্ণতায় গাসের চাপ যথাক্রমে 100 সেমি ও 136 99 সেমি পারদস্তম্ভের সমান। যখন থার্মোমিটারের কুণ্ডকে একটি উষ্ণ জলগাহে রাখা হল তখন চাপ দাঁড়াল 125·8 সেমি.। জলগাহের উষ্ণতা কত। (**পাটনা 1946**) [69.74°C]

24. 3 ফুট দীর্ঘ একটি খালি ব্যারোমিটার নল মুখ নীচুদিক করে কোন জলাশয়ের জলে ডোবানো হল। নলের ভিতর জল যখন 1 ফুট ঢুকে যাবে তখন জলাশয়ের জলতল থেকে নলের শীর্ষ কত গভীরে থাকবে ? বায়ুচাপ= 33 ফুট জলস্তম্ভ। [14 5 ফুট]

---

5 পঞ্চম অধ্যায়

ক্যালরিমিতি (Calorimetry)

5.1 তাপ বিজ্ঞানের যে শাখায় তাপ-পরিমাণ এবং আনুষঙ্গিক কয়েকটি তাপীয় রাশি পরিমাপ করা হয় তাকে **ক্যালরিমিতি** (Calorimetry) বলে।

5.2 কয়েকটি প্রাথমিক সংজ্ঞা (Preliminary definitions)

তাপের একক (Unit of heat) : একক ভরের বিশুদ্ধ জলের উষ্ণতা 1° ডিগ্রি বাড়াতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন তাকে একক তাপ বলে। এই সংজ্ঞা থেকে তাপের তিনটি একক পাওয়া যায়।

(i) **ক্যালরি** (Calorie)—1 গ্রাম বিশুদ্ধ জলের উষ্ণতা 1°C (সঠিকভাবে বলতে গেলে, 14·5°C থেকে 15·5°C) বাড়াতে যে তাপের প্রয়োজন তাকে 1 **ক্যালরি** বলা হয়।

(ii) **বৃটিশ থার্মাল একক** (British thermal unit)—একে সংক্ষেপে B. Th. U. বলে উল্লেখ করা হয়। 1 পাউণ্ড ভর বিশুদ্ধ জলের উষ্ণতা 1°F (সাধারণত 62°F থেকে 63°F) বাড়াতে যে তাপের প্রয়োজন তাকে **1 B. Th. U** বা **বৃঃ থাঃ এ** ঃ বলে।

(iii) **পাউণ্ড ডিগ্রি সেন্টিগ্রেড একক** (Pound-degree centrigrade unit)—একে সংক্ষেপে lb. °C বলে উল্লেখ করা হয়। এর অপর নাম **সেন্টিগ্রেড তাপ একক** (Centigrade Heat Unit বা C. H. U.)। 1 পাউণ্ড ভর বিশুদ্ধ জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ তাপ প্রয়োজন তাকে **সেন্টিগ্রেড তাপ একক** বলে।

বড় ক্যালরি বা কিলোক্যালরি (Kilo-calorie) : ক্যালরি খুব ছোট একক বলে বড় ক্যালরি বা কিলো-ক্যালরি এককের প্রবর্তন করা হয়েছে।

1 **কিলো ক্যালরি** = 1000 **ক্যালরি**।

অর্থাৎ 1 কিলোগ্রাম ভর বিশুদ্ধ জলের উষ্ণতা 1°C (14·5°C → 15·5°C) বৃদ্ধি করতে যে তাপ দরকার তা-ই 1 কিলোক্যালরি। খাদ্যবস্তুর ক্যালরি-মান প্রকাশ করতে এই একক ব্যবহৃত হয়।

থার্ম (Therm) : এটিও তাপীয় একক। গ্যাস-ইঞ্জিনিয়ারিং ক্ষেত্রে এই একক ব্যবহৃত হয়। 1 **থার্ম** = 100,000 **বৃটিশ থার্মাল একক**।

তালিকা 5·1 : তাপীয় একক

একক	জলের ভর	উষ্ণতা	ক্যালরি
ক্যালরি	1 গ্রাম	1°C	1
বড় ক্যালরি	1000 গ্রাম	1°C	1000
বৃটিশ থার্মাল একক	1 পাউণ্ড	1°F	252
থার্ম	100,000 পাউণ্ড	1°F	$2{\cdot}52\times10^7$
পাউণ্ড ক্যালরি	1 পাউণ্ড	1°C	453·6

উপরের তালিকায় বিভিন্ন তাপ-একক এবং তাদের পারস্পরিক সম্পর্ক দেখান হল। সম্পর্কগুলি সংজ্ঞা থেকে সরাসরি পাওয়া যায়। যেমন

1 B. Th. U$=1$ পাউণ্ড$\times 1°F = 453{\cdot}6$ গ্রাম$\times\frac{5}{9}°C=$**252 ক্যালরি**

1 lb°C $=1$ পাউণ্ড$\times 1°C = 453{\cdot}6$ গ্রাম$\times 1°C =$ **453·6 ক্যালরি**

লক্ষ্য কর : পরীক্ষায় দেখা গেছে, 1 গ্রাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করতে যে তাপের প্রয়োজন তা ঠিক ধ্রুবক নয়; ঐ 1°C কোন্ অবকাশের 1°C তার উপর নির্ভর করে। এজন্য ক্যালরির সংজ্ঞায় 14·5°C থেকে 15·5°C কথাটি বলা হয়েছে। তেমনি B. Th. U.-এর ক্ষেত্রে 62°F থেকে 63°F অবকাশের 1°F উল্লেখ করা হয়েছে। এই কারণে কখন কখন **গড় ক্যালরি (Mean calorie)** বলে একটি সংজ্ঞারও উল্লেখ দেখা যায়।

গড় ক্যালরি : 1 গ্রাম বিশুদ্ধ জলের উষ্ণতা 0°C থেকে 100°C পর্যন্ত বাড়াতে যে তাপের প্রয়োজন তার 100 ভাগকে এক **গড় ক্যালরি** বলে।

5.3 আপেক্ষিক তাপ (Specific heat)

সকল বস্তুর তাপ গ্রহণের ক্ষমতা সমান নয়। বিভিন্ন বস্তুর তাপ-গ্রহণের এই ভিন্নতা বোঝানোর জন্য **আপেক্ষিক তাপ** শব্দটি ব্যবহার করা হয়।

আপেক্ষিক তাপের প্রচলিত সংজ্ঞা দুটি।

প্রথম সংজ্ঞা : কোন পদার্থের একক ভরের উষ্ণতা 1° বৃদ্ধি করতে যে তাপের প্রয়োজন তাকে ঐ পদার্থের **আপেক্ষিক** তাপ বলে।

কাজেই সি জি. এস্ পদ্ধতিতে কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলতে ঐ পদার্থের 1 গ্রাম ভরের উষ্ণতা **1°C** বাড়াতে যত ক্যালরি তাপ প্রয়োজন তা-ই বুঝায়।

আর, এফ. পি. এস্ পদ্ধতিতে কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ হল ঐ পদার্থের 1 পাউণ্ড ভরের উষ্ণতা 1°F বৃদ্ধি করতে বৃটিশ থার্মাল এককে প্রয়োজনীয় তাপ-পরিমাণ। এই সংজ্ঞানুসারে স্পষ্টত,

জলের আপেক্ষিক তাপ = 1 ক্যালরি/গ্রাম/°C (সি. জি. এস.)

= 1 B. Th. U/পাউণ্ড/°F (এফ. পি. এস)

অর্থাৎ **আপেক্ষিক তাপ সংখ্যামাত্র নয়, ওর একক আছে।** পদ্ধতিভেদে এককও ভিন্ন। সি. জি. এস পদ্ধতিতে একক হল **ক্যালরি গ্রাম$^{-1}$ °C^{-1}** এবং এফ. পি. এস পদ্ধতিতে একক **B. Th. U. lb^{-1} °F^{-1}.**

দ্বিতীয় সংজ্ঞা ঃ কোন পদার্থের নির্দিষ্ট ভরের উষ্ণতা নির্দিষ্ট পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যে তাপের প্রয়োজন, আর সমভর জলের উষ্ণতা ঐ পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যে তাপের দরকার এই দুই-এর অনুপাতকে ঐ পদার্থের **আপেক্ষিক তাপ** বলা হয়। অর্থাৎ

$$\textbf{আপেক্ষিক তাপ} = \frac{\text{একক ভরের উষ্ণতা } 1^\circ \text{ বাড়াতে প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{একক ভর জলের উষ্ণতা } 1^\circ \text{ বাড়াতে প্রয়োজনীয় তাপ}}$$

এই সংজ্ঞানুসারে, আপেক্ষিক তাপ একজাতীয় দুটি রাশির অনুপাত হওয়ায় **একটি সংখ্যামাত্র—এর কোন একক নেই।**

অনুপাতের লবে উল্লিখিত প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ, সি. জি. এস. এককে, 1 ক্যালরি।

∴ আপেক্ষিক তাপ s হলে, পদার্থের 1 গ্রাম ভরকে 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ $= s \times 1$ ক্যালরি $= s$ ক্যালরি।

'তামার আপেক্ষিক তাপ 0·095'-এ কথার অর্থ 1 গ্রাম তামার উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করতে 0·095 ক্যালরি তাপের প্রয়োজন।

তালিকা 5.2 ঃ আপেক্ষিক তাপ

পদার্থ	আপেক্ষিক তাপ	পদার্থ	আপেক্ষিক তাপ
সোনা	0·0302	পারদ	0·0333
রূপা	0·0566	সীসা	0·0302
প্লাটিনাম	0·0320	পিতল	0 0880
লোহা	0·1045	তার্পিন	0·4200
অ্যালুমিনিয়ম	0·2096	বরফ	0·5020

দুই সংজ্ঞাতেই আপেক্ষিক তাপের মান এক—শুধু একটি সংজ্ঞায় রাশিটি এককযুক্ত, অন্য সংজ্ঞায় সংখ্যামাত্র। কোন্ সংজ্ঞাটি সর্বজনগ্রাহ্য হবে এ সম্পর্কে পদার্থবিদ্‌গণ এখনও একমত হতে পারেন নি। তবে প্রথম সংজ্ঞাটি ক্রমে জনপ্রিয়তা অর্জন করছে।

5.4 বস্তু কর্তৃক গৃহীত ও বর্জিত তাপ
(Heat gained or lost by a body)

ধর, m = বস্তুর ভর, s = আপেক্ষিক তাপ, t = উষ্ণতার বৃদ্ধি

∴ আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞানুসারে,

1 গ্রাম বস্তুকে 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ = s ক্যালরি

∴ m ,, ,, ,, ,, ,, ,, = ms ক্যালরি

∴ m ,, t°C ,, ,, ,, ,, = mst ক্যালরি

∴ বস্তু কর্তৃক গৃহীত তাপ H = mst = ভর × আঃ তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি

উষ্ণতা t°C বৃদ্ধি না করে যদি হ্রাস করা হত তবে বস্তুটি তাপ বর্জন করতো, কিন্তু উপরের গণনা অপরিবর্তিত থাকত।

∴ বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ H = mst = ভর × আঃ তাপ × উষ্ণতা হ্রাস

5.5 বস্তুর তাপগ্রাহিতা ও জলসম
(Thermal capacity and water equivalent)

তাপগ্রাহিতা—কোন বস্তুকে 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন তাকে ঐ বস্তুর **তাপগ্রাহিতা** বলে।

ধর, m = বস্তুর ভর (গ্রামে), s = আপেক্ষিক তাপ ; তা হলে, আমরা দেখেছি, ঐ বস্তুর উষ্ণতা t°C বাড়াতে যে তাপের প্রয়োজন তা হল $H = mst$ ক্যালরি। কাজেই 1°C উষ্ণ করতে প্রয়োজনীয় তাপ $= ms$ ক্যালরি। সংজ্ঞানুসারে, এই-ই হল তাপগ্রাহিতা।

∴ **তাপগ্রাহিতা = ms** ক্যালরি

= ভর × আপেক্ষিক তাপ

স্পষ্টত, কোন পদার্থের একক ভরের তাপগ্রাহিতা-ই ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ।

জলসম—কোন বস্তুর উষ্ণতা 1°C বাড়াতে যে তাপের প্রয়োজন সেই তাপে যত গ্রাম জলের উষ্ণতাকে 1°C বাড়ানো চলে তাকে ঐ বস্তুর জলসম বলে।

ধর, বস্তুর ভর $=m$ গ্রাম, আপেক্ষিক গুরুত্ব $=s$; তা হলে 1°C উষ্ণতা বাড়াতে বস্তুটির যে পরিমাণ তাপ দরকার তা হল ms ক্যালরি।

কিন্তু যেহেতু 1 ক্যালরি তাপে 1 গ্রাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি পায়, অতএব ms ক্যালরি তাপে ms গ্রাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি পাবে।

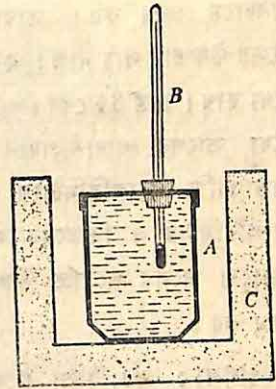
কাজেই, সংজ্ঞানুসারে, **জলসম W=ms গ্রাম=ভর × আঃ তাপ (গ্রামে)**

স্পষ্টত, কোন বস্তুর, জলসম W জানা থাকলে ঐ বস্তুর উষ্ণতা t°C বাড়াতে প্রয়োজনীয় তাপ $H=Wt$.

জলসম ও তাপগ্রাহিতার পার্থক্য : উপরের আলোচনা থেকে দেখা যায় যে, সংখ্যাগত দিক থেকে জলসম ও তাপগ্রাহিতার মান এক। উভয়েই বস্তুর ভর ও আপেক্ষিক গুরুত্বের গুণফল। কিন্তু এরা অভিন্ন নয়, ওদের একক বিভিন্ন। জলসম হল কোন বস্তুর সমার্থক (তাপীয়) জলের পরিমাণ, আর তাপগ্রাহিতা হল সেই বস্তুর জন্য একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ।

5.6 ক্যালরিমিটার (Calorimeter)

ক্যালরিমিতি সংক্রান্ত অধিকাংশ পরীক্ষাগুলো সাধারণত একটি সরল যন্ত্র ব্যবহার করে করা হয়। একে **ক্যালরিমিটার** বলে। সরলতমরূপে এটি একটি বেলনাকৃতি তামার পাত্র A। ঐ পাত্রে থাকে কোন তরল পদার্থ, আর একটি তামার আলোড়ক। আলোড়কের সাহায্যে তরলটিতে প্রয়োজনমতো আলোড়ন সৃষ্টি করা হয়। এতে ঐ তরলে রাখা কোন বস্তুকে উত্তপ্ত বা শীতল করলে তাপের সমভাবে সঞ্চালন ঘটে। B থার্মোমিটারের সাহায্যে উষ্ণতা নির্ণয় করা হয়। তাপক্ষয় নিবারণের জন্য ক্যালারিমিটারের চারপাশে তাপের কুপরিবাহী আবরক C থাকে।

B
A
C

চিত্র 34

5.7 ক্যালরিমিতির মূল সূত্র (Principle of calorimetry)

ক্যালরিমিতিতে ভিন্ন উষ্ণতার দুটি বস্তুকে ক্যালরিমিটারের মধ্যে পরস্পরের সংস্পর্শে আনা হয়। এতে ওদের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান ঘটে। উষ্ণতর

বস্তু থেকে তাপ কম উষ্ণ বস্তুতে প্রবাহিত হয়। যতক্ষণ না উভয়ের উষ্ণতা সমান হয় ততক্ষণ এই তাপপ্রবাহ চলতে থাকে।

পরস্পর সংস্পর্শে আসার পর, ধরা যাক, বাইরে থেকে কোন তাপ ক্যালরিমিটারে আসছে না, ভিতরের তাপও বাইরে যাচ্ছে না এবং ওদের মধ্যে কোন রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটছে না। তা হলে, শক্তির নিত্যতা সূত্রানুসারে,

উষ্ণ বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ = শীতল বস্তু কর্তৃক গৃহীত তাপ

বা **বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ**

এই হল **ক্যালরিমিতির মূল সূত্র**।

5.8 ক্যালরিমিতি সংক্রান্ত সমস্যা (Calorimetric problems)

এখানে সমাধান সহ ক্যালরিমিতির কিছু সমস্যা আলোচনা করা হল।

(a) **ক্যালরিমিটারের জলসম নির্ণয় :** ক্যালরিমিতির পরীক্ষায় ক্যালরিমিটার নিজেও তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে। কিন্তু তার পরিমাণ **কত?** এজন্য ক্যালরিমিটারের জলসম জানা প্রয়োজন।

পদ্ধতি : ক্যালরিমিটারকে পরিষ্কার ও শুকনো করে আলোড়কসহ তুলাদণ্ডে সাবধানে ওজন কর। তারপর ওতে কিছু জল ঢেলে আবার ওজন নাও। জলের উষ্ণতার পাঠ নাও। ক্যালরিমিটারকে এবারে একটি অপরিবাহী পাত্রের মধ্যে রাখ। চিত্র 34 দেখ। এতে পরীক্ষাকালে ক্যালরিমিটার ও পারিপার্শ্বিকের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান ঘটবে না। এবারে কিছু পরিমাণ উষ্ণ জল তাড়াতাড়ি ক্যালরিমিটারে ঢালো এবং আলোড়ক নাড়তে থাক। এখন ক্যালরিমিটার ও ভিতরের জলের উষ্ণতা বেড়ে যাবে। থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের সর্বোচ্চ উষ্ণতার পাঠ নাও। পরে সবশুদ্ধ ক্যালমিটার ওজন কর।

গণনা : ধর, ঠাণ্ডা জলের ভর $= m_1$ গ্রাম, গরম জলের ভর $= m_2$ গ্রাম, ক্যালরিমিটার ও ভিতরের ঠাণ্ডা জলের উষ্ণতা $= t_1$°C, গরম জলের উষ্ণতা $= t_2$°C, মিশ্রণের উষ্ণতা $= t$°C এবং ক্যালরিমিটারের নির্ণেয় জলসম $= W$.

∴ ঠাণ্ডা জল কর্তৃক গৃহীত তাপ $= m_1(t - t_1)$

ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ $= W(t - t_1)$

গরম জল কর্তৃক বর্জিত তাপ $= m_2(t_2 - t)$

যেহেতু বর্জিত তাপ=গৃহীত তাপ, অতএব

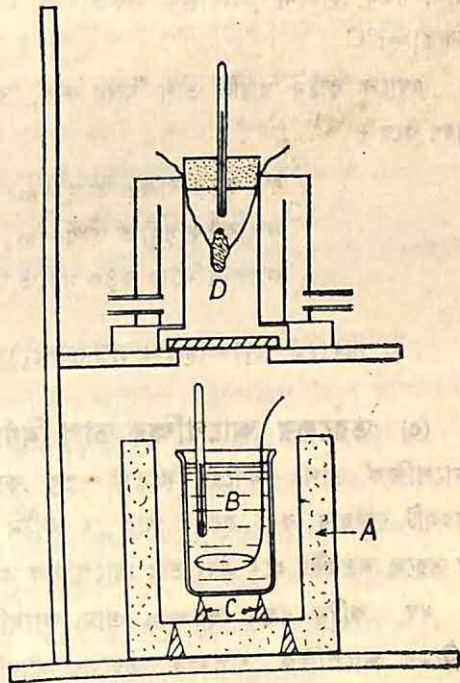
$$m_1(t-t_1)+W(t-t_1)=m_2(t_2-t)$$

$$\therefore \quad W(t-t_1)=m_2(t_2-t)-m_1(t-t_1)$$

$$\therefore \quad W=m_2\ \frac{t_2-t_1}{t-t_1}-m_1$$

যদি ক্যালরিমিটারের ভর m জানা থাকে তবে ক্যালরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ $s=W/m$-ও জানা যায়।

দ্রষ্টব্য : $(t-t_1)$ বেশ কয়েক ডিগ্রি না হলে ফল ত্রুটিপূর্ণ বেরবে।

(b) **কঠিনের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় :** বস্তুটি বায়ুতে ওজন কর। তারপর ওকে একটি বাষ্প প্রকোষ্ঠ (**steam chamber**) D-তে সুতো দিয়ে ঝোলাও। প্রকোষ্ঠটি দুই দেয়ালযুক্ত ও বেলনাকৃতি। ব্যবস্থাটি (35নং চিত্রের উপরাংশ) এমন যে, দুই দেয়ালের মধ্যবর্তী অঞ্চলে বাষ্প প্রবেশ করতে পারে। বস্তুটির উষ্ণতা কত তা একটি থার্মোমিটারের সাহায্যে জানা যায়। থার্মোমিটারের বাল্ব এবং বস্তুটি প্রকোষ্ঠের কেন্দ্রস্থলে ও খুব কাছাকাছি থাকা চাই। ভিতরের বেলনের নিম্নাংশ একটা ঢাকনা দিয়ে বন্ধ রাখ। তাপক্ষয় কমানোর জন্য বাইরের বেলন ফেল্ট বা ঐ জাতীয় তাপের কুপরিবাহী পদার্থে মুড়ে দাও। একটা বদ্ধপাত্রে জল ফুটিয়ে উদ্ভূত বাষ্পকে বাষ্প-প্রকোষ্ঠে নিয়ে যাও এবং দেখ ভিতরের প্রকোষ্ঠ গরম হয়ে উঠছে, বস্তুর উষ্ণতা বেড়ে যাচ্ছে এবং পরিশেষে ষ্টীমের

চিত্র 35

উষ্ণতার প্রায় সমান হচ্ছে। থার্মোমিটারের উষ্ণতার পাঠ স্থির হওয়ার জন্য পর্যাপ্ত সময় দিতে হবে।

এরপর (35নং চিত্রের নিম্নাংশ) একটি শূন্য ক্যালরিমিটার (আলোড়ক সহ) B নিয়ে ওজন কর। ক্যালরিমিটারের জলসম আগে জানা থাকা চাই। পরে ক্যালরিমিটারে কিছু জল নিয়ে ওজন কর এবং থার্মোমিটার দিয়ে উভয়ের উষ্ণতা জেনে নাও।

যখন বাষ্প প্রকোষ্ঠে বস্তুর উষ্ণতা জলের স্ফুটনাঙ্কের কাছাকাছি গিয়ে স্থির হয়ে যায় তখন ওকে তাড়াতাড়ি ক্যালরিমিটারের মধ্যে ফেলে দিয়ে আলোড়ক দিয়ে খুব করে নাড়ো। থার্মোমিটার থেকে ভিতরের জলের সর্বোচ্চ উষ্ণতার পাঠ নাও।

গণনা : ধর, কঠিন বস্তুর ভর $= m$ গ্রাম, কঠিনের আপেক্ষিক তাপ $= s$, ক্যালরিমিটারের জলসম $= W$ গ্রাম, ক্যালরিমিটারে গৃহীত জলের ভর $= m_1$ গ্রাম, গরম কঠিনের প্রারম্ভিক উষ্ণতা $= t_2{}^\circ C$ এবং মিশ্রণের ফলে চূড়ান্ত উষ্ণতা $= t^\circ C$

এখানে কঠিন বস্তুটি তাপ বর্জন করে, ক্যালরিমিটার ও জল সেই তাপ গ্রহণ করে।

বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ $= ms\,(t_2 - t)$
জল কর্তৃক গৃহীত তাপ $= m_1\,(t - t_1)$
ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ $= W(t - t_1)$

$$\therefore\ ms\,(t_2 - t_1) = (m_1 + W)\,(t - t_1) \quad \therefore\ s = \frac{(m_1 + W\,(t - t_1))}{m\,(t_2 - t_1)}$$

(c) তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়—এক্ষেত্রে পদ্ধতিটি কঠিনের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়ের মতোই—শুধু ক্যালরিমিটারে জলের পরিবর্তে তরলটি ব্যবহার করা হয়। আর যে কঠিন বস্তুটি ব্যবহার করা হচ্ছে তা ঐ তরলে অদ্রবণীয় হবে এবং তার আপেক্ষিক তাপ জানা থাকা চাই।

ধর, কঠিন বস্তুর ভর $= m$ গ্রাম, ক্যালরিমিটারের জলসম $= W$ গ্রাম, কঠিনের আপেক্ষিক তাপ $= s$, তরলের প্রাথমিক উষ্ণতা $= t_1{}^\circ C$, তরলের ভর $= m'$ গ্রাম, কঠিনের প্রাথমিক উষ্ণতা $= t_2{}^\circ C$ তরলের আপেক্ষিক তাপ $= s'$ এবং মিশ্রণের চূড়ান্ত উষ্ণতা $= t^\circ C$

$\therefore$ কঠিন বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ $= ms(t_2 - t)$

তরল কর্তৃক গৃহীত তাপ $= m's'(t - t_1)$

ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ $= W(t - t_1)$

$$\therefore \quad ms(t_2 - t) = m's'(t - t_1) + W(t - t_1)$$

$$\therefore \quad s' = \frac{ms(t_2 - t) - W(t - t_1)}{m'(t - t_1)}$$

(d) **উচ্চ উষ্ণতা নির্ণয় ঃ** ধর, কোন চুল্লীর উষ্ণতা বের করতে হবে। উষ্ণতা এতো বেশি যে, সাধারণ থার্মোমিটারে মাপা চলে না। এখানে ক্যালরিমিতির মূলসূত্রের সাহায্যে উষ্ণতা নির্ণয় করা সম্ভব।

চুল্লীতে m ভরের ও s আপেক্ষিক তাপের এমন একটি ধাতুখণ্ড রেখে দাও যেন ঐ উষ্ণতায় ধাতুখণ্ডটি গলে না যায়। কিছুক্ষণ রাখলে ধাতুখণ্ডের উষ্ণতা চুল্লীর উষ্ণতার সমান হবে। W জলসমযুক্ত একটি ক্যালরিমিটারে t_1°C উষ্ণতার m_1 গ্রাম জল নিয়ে চট্ করে ধাতুখণ্ডটি চুল্লী থেকে ক্যালরিমিটারে ফেল। ক্যালরিমিটারে এমন পরিমাণ ঠাণ্ডা জল নাও যেন চূড়ান্ত উষ্ণতা 0 - 100°C এর মধ্যে হয়। ধর, t°C হল চূড়ান্ত উষ্ণতা এবং চুল্লীর নির্ণেয় উষ্ণতা T°C.

এক্ষেত্রে, ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ $= W(t - t_1)$

জল কর্তৃক গৃহীত তাপ $= m_1(t - t_1)$

কঠিন বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ $= ms\,(T - t)$

$$\therefore \quad W(t - t_1) + m_1(t - t_1) = ms\,(T - t)$$

T ছাড়া সকলের মান জানা ; কাজেই এই সমীকরণ থেকে T জানা যাবে।

5.9 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. মিশ্রণ পদ্ধতিতে কঠিনের আপেক্ষিক তাপ মাপতে 80 গ্রাম ওজনের একটি তামার ক্যালরিমিটারে 102 গ্রাম জল নেওয়া হল। জল ও কঠিনের প্রাথমিক উষ্ণতা যথাক্রমে 16.0°C এবং 100°C এবং মিশ্রণের চূড়ান্ত উষ্ণতা 24.1°C ; কঠিন বস্তুটির ভর 49.8 গ্রাম হলে, আপেক্ষিক তাপ কত ?

তামার আপেক্ষিক তাপ $= 0.1$; ধর, কঠিনের নির্ণেয় আপেক্ষিক তাপ $= s$

কঠিন কর্তৃক বর্জিত তাপ $= 49.8.s\,(100 - 24.1)$ ক্যালরি

জল কর্তৃক গৃহীত তাপ $= 102\,(24.1 - 16)$ ক্যালরি

ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ $= 80 \times 0.1 \times (24.1 - 16)$ ক্যালরি

$\therefore \quad 49{\cdot}8 \times s(100-24{\cdot}1)=102\times(24{\cdot}1-16)+80\times0{\cdot}1(24{\cdot}1-16)$

সমাধানান্তে $s=0{\cdot}24$

উদা. 2. 200 গ্রাম সীসাকে গরম করে 100°C উষ্ণতায় এনে ওকে একটি পাত্রে রাখা 200 গ্রাম তরলে ফেলা হল। তরলের আপেক্ষিক তাপ 0·5 এবং প্রাথমিক উষ্ণতা 0°C। চূড়ান্ত উষ্ণতা কত হবে? পাত্র কোন তাপ গ্রহণ করে না এবং সীসার আপেক্ষিক তাপ=0·03। **(পঃ বঃ উঃ মাঃ)**

ধর, চূড়ান্ত উষ্ণতা = t°C

$\therefore$ উত্তপ্ত সীসা কর্তৃক বর্জিত তাপ $=200\times0{\cdot}03\times(100-t)$ ক্যালরি

তরল কর্তৃক গৃহীত তাপ $=200\times0{\cdot}5\times(t-0)$ ক্যালরি

$\because$ বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

$\therefore \quad 200\times0{\cdot}03\times(100-t)=200\times0{\cdot}5\times t \quad \therefore \quad t=\mathbf{5{\cdot}66°C}$

উদা. 3. দুটি বস্তুর ঘনত্বের অনুপাত **2 : 3** এবং আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে 0·12 এবং 0·09। বস্তু দুটির প্রতি একক আয়তনের তাপগ্রাহিতার অনুপাত কত?

ধর, বস্তুদ্বয়ের ঘনাঙ্ক যথাক্রমে 2ρ এবং 3ρ;

$\therefore$ বস্তুদ্বয়ের একক আয়তনের ভর যথাক্রমে $1\times2\rho$ এবং $1\times3\rho$

প্রথম বস্তুটির তাপগ্রাহিতা $=2\rho\times0{\cdot}12$

দ্বিতীয় বস্তুটির তাপগ্রাহিতা $=3\rho\times0{\cdot}09$

$\therefore$ তাপগ্রাহিতার অনুপাত $=\dfrac{2\rho\times0{\cdot}12}{3\rho\times0{\cdot}09}=\dfrac{8}{9}$

উদা. 4. 80 গ্রাম ভরের একটি তামার ক্যালরিমিটারে 15°C উষ্ণ 120 গ্রাম তরল ছিল। 30 গ্রাম ওজনের একটি তামার টুকরো ফার্নেস থেকে দ্রুত ঐ তরলে ফেলা হল। তরলের উষ্ণতা বেড়ে 45°C হল। ফার্নেসের উষ্ণতা কত? (তরলের আপেক্ষিক তাপ=0·4৲, তামার আপেক্ষিক তাপ=0·1)

ধর, ফার্নেসের উষ্ণতা = t°C

তামার টুকরো কর্তৃক বর্জিত তাপ $=30\times0{\cdot}1\times(t-45)$ ক্যালরি

ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ $=80+0{\cdot}1\times(45-15)$,,

তরল কর্তৃক গৃহীত তাপ $=120\times0{\cdot}45\times(45-15)$,,

$\because$ বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

$\therefore \quad 30\times0{\cdot}1\times(t-45)=80\times0{\cdot}\times(45-15)+120\times0{\cdot}45\ (45-15)$

$\therefore \quad t=665°C$

উদা. 5. 60 পাউণ্ড ওজনের তামার বয়লারে 30 গ্যালন জল আছে। জলের প্রাথমিক উষ্ণতা 52°F। ঐ জলকে স্ফুটনাঙ্কে নিতে কত আয়তনের কয়লা-গ্যাস প্রয়োজন? কয়লা-গ্যাসের তাপন মূল্য = 480 বৃটীশ তাপীয় একক/ঘনফুট ; 1 গ্যালন = 10 পাউণ্ড এবং তামার আপেক্ষিক তাপ = 0·1

জলের ভর = 30 × 10 = 300 পাউণ্ড

জল কর্তৃক গৃহীত তাপ = ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা বৃদ্ধি

= 300 × 1 × (212 − 52) বৃ. থা. এ.

বয়লার কর্তৃক গৃহীত তাপ = 60 × 0·1 × (212 − 52) বৃ. থা. এ.

∴ প্রয়োজনীয় তাপ = (300 × 160) + (6 × 160)

= 48,000 + 960 = 48960 বৃ. থা. এ.

∴ প্রয়োজনীয় কয়লা-গ্যাসের আয়তন $=\frac{48960}{480}=$ **102 ঘনফুট**

উদা 6. রূপা, সীসা এবং অ্যালুমিনিয়মের যে ভরের তাপগ্রাহিতা 1 লিটার জলের তাপগ্রাহিতার সমান হবে সেগুলি নির্ণয় কর। ওদের আঃ তাঃ যথাক্রমে 0·056, 0·031 এবং 0·22।

তাপগ্রাহিতা = ভর × আপেক্ষিক তাপ ; 1 লিটার জল = 1000 গ্রাম জল

∴ 1 লিটার জলের তাপগ্রাহিতা = 1000 × 1 = 1000 ক্যালরি

∴ রূপার নির্ণেয় ভর = 1000/0·056 = **17,830 গ্রাম**

সীসার নির্ণেয় ভর = 1000/0·031 = **32,300 গ্রাম**

অ্যালুমিনিয়মের নির্ণেয় ভর = 1000/0·22 = **4540 গ্রাম**

অনুশীলনী

1. সংজ্ঞা লেখ : ক্যালরি, বড় ক্যালরি, গড় ক্যালরি, বৃটীশ তাপীয় একক, থার্ম, পাউণ্ড ক্যালরি।
2. তাপের এককগুলোর পরিচয় দাও। ওদের পারস্পরিক সম্পর্ক কি?
3. তামার আপেক্ষিক তাপ 0·09—এ কথার অর্থ কি?
4. তাপগ্রাহিতা কি? এ থেকে আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা দাও।
5. জল-সম কাকে বলে? জলসম ও তাপগ্রাহিতার প্রভেদ কি?

6. আপেক্ষিক তাপ বলতে কি বোঝ? এর কি কোন একক আছে? তাপগ্রাহিতা ও আপেক্ষিক তাপে কি পার্থক্য?

7. গড় আপেক্ষিক তাপ ও কোন বিশেষ উষ্ণতায় আপেক্ষিক তাপ বলতে কি বোঝ?

8. ক্যালরিমিতির মূলসূত্রটি কি? কি কি শর্তে সূত্রটি খাটে?

9. ক্যালরিমিতির সূত্র প্রয়োগ করে কি করে নিম্নলিখিত রাশিগুলো নির্ণয় করা যায়: (a) ক্যালরিমিটারের জলসম (b) কঠিনের আপেক্ষিক তাপ (c) ক্যালরিমিটারের আপেক্ষিক তাপ (d) তরলের আপেক্ষিক তাপ এবং (e) উচ্চ উষ্ণতা।

10. ক্যালরিমিটারের মূলসূত্রটি কি নিম্নোক্ত ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা যাবে?
(a) ক্যালরিমিটারের তরল=জল, কঠিন পদার্থ=চিনি।
(b) ক্যালরিমিটারের তরলে কঠিন পদার্থটির রাসায়নিক বিক্রিয়া হয়।
(c) ক্যালরিমিটারকে টেবিলের উপর খোলা হাওয়ায় রাখা হল।

(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1963)

11. তোমাকে নিম্নলিখিত বস্তুগুলো দেওয়া হল: (i) পারদ থার্মোমিটার, (ii) তুলাযন্ত্র ও ওজনের বাক্স, (iii) একটি প্লাটিনাম বল, (iv) জানা জলসমবিশিষ্ট একটি ক্যালরিমিটার। এগুলির সাহায্যে তুমি কি 500°C উষ্ণতা মাপতে পারবে? তোমার উত্তরের পক্ষে যুক্তি দেখাও।

12. তিনটি তরলের সমপরিমাণ ভর মিশ্রিত করা হল। ওদের আপেক্ষিক তাপ s_1, s_2, s_3 এবং উষ্ণতা যথাক্রমে t_1, t_2, t_3; মিশ্রণের চূড়ান্ত উষ্ণতা নির্ণয় কর।

13. দেখাও যে, কোন বস্তু কর্তৃক গৃহীত বা বর্জিত তাপের পরিমাণ = বস্তুর ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতার বৃদ্ধি বা হ্রাস।

14. ক্যালরিমিটার বলতে কি বোঝ? এর সাহায্যে জলে অদ্রবণীয় একটি কঠিনের আপেক্ষিক তাপ কি করে নির্ণয় করবে? **(উৎকল 1956)**

15. 80°C উষ্ণতার 50 গ্রাম জল একটি পাত্রে ফেলা হল। ঐ পাত্রে 12°C উষ্ণতার 40 গ্রাম জল ছিল। মিশ্রিত জলের চূড়ান্ত উষ্ণতা 46°C; পাত্রটির জলসম কত? [1360 ক্যালরি]

16. A, B এবং C তিনটি তরলের উষ্ণতা যথাক্রমে 14°C, 24°C এবং 34°C; A এবং B তরলদ্বয়ের সমপরিমাণ মিশ্রিত করলে মিশ্রণের উষ্ণতা

দাঁড়ায় 20°C ; আবার B এবং C তরলদ্বয়ের সমপরিমাণ মিশ্রিত করলে উষ্ণতা দাঁড়ায় 31°C ; দেখাও যে, A এবং C তরলদ্বয়ের আপেক্ষিক অনুপাত 2 : 7. (উৎকল, 1957)

17. 100 গ্রাম ওজনের একটি বস্তুকে 122°C উষ্ণ করে 28°C উষ্ণতার 300 গ্রাম জলে ফেলা হল। ঐ জল 50 গ্রাম ওজনের একটি ক্যালরিমিটারে ছিল। মিশ্রণের চূড়ান্ত উষ্ণতা হল 30°C ; তামার আপেক্ষিক তাপ 0·09 ; বস্তুর আপেক্ষিক তাপ কত ? (উঃ মাঃ কম্পার্ট, 1962) [0 066]

18 450 গ্রাম ওজনের একটি ধাতব বেলনকে 150°C উষ্ণতায় 15°C উষ্ণ 200 গ্রাম জলে ফেলা হল। ঐ জল 200 গ্রাম ওজনের পিতলের ক্যালরিমিটারে ছিল। চূড়ান্ত উষ্ণতা 38°C ; ঐ ধাতুর তাপগ্রাহিতা বের কর। পিতলের আঃ তাপ =0·092 (গৌহাটি, 1956) [44·85 ক্যা/°C]

19. 10 গ্রাম জলসমযুক্ত একটি পাত্রে রক্ষিত 30°C উষ্ণ 240 গ্রাম জলে 50 গ্রাম ওজনের একটি লোহার বলকে সরাসরি ফার্নেস থেকে ফেলা হল। জলের উষ্ণতা 50°C-এ বেড়ে গেলে ফার্নেসের উষ্ণতা কত ? লোহার আপেক্ষিক তাপ =0·1 [1050°C]

20. A, B এবং C তিনটি তরল পদার্থ। 60°C উষ্ণতায় 4 গ্রাম A-তরল এবং 50°C উষ্ণতায় 1 গ্রাম C-তরল মিশালে মিশ্রণের চূড়ান্ত উষ্ণতা 55°C হয়। আবার, 60°C উষ্ণতায় 1 গ্রাম A-তরল এবং 50°C উষ্ণতায় 1 গ্রাম B-তরল মিশালে মিশ্রণের চূড়ান্ত উষ্ণতা 55°C হয়। 60°C উষ্ণতায় 1 গ্রাম B-তরল এবং 50°C উষ্ণতায় 1 গ্রাম C-তরল মিশালে মিশ্রণের চূড়ান্ত উষ্ণতা কত হবে ? [52°C]

6 ষষ্ঠ অধ্যায়

পদার্থের অবস্থান্তর (Change of State)

6.1 তাপে পদার্থের অবস্থার পরিবর্তন (Heat causes change of state)

যে কোন পদার্থ তিন অবস্থায় থাকতে পারে -**কঠিন, তরল** ও **গ্যাসীয়**। যেমন জল তরল, কঠিন হয়ে সে বরফ হয়ে যায় আবার বাষ্পের আকারে গ্যাসীয় রূপ গ্রহণ করে। পদার্থের এই অবস্থার পরিবর্তন তাপের হ্রাস-বৃদ্ধির ফলে ঘটে। তাপ বাড়ালে কঠিন বস্তু তরল হয়, তরল বস্তু গ্যাসীয় হয় ; আবার তাপ কমালে বিপরীত পরিবর্তন দেখা দেয়, গ্যাসীয় বস্তু তরল হয়, তরল বস্তু কঠিন হয়।

$$\textbf{কঠিন} \xrightarrow{\text{তাপ}} \textbf{তরল} \xrightarrow{\text{তাপ}} \textbf{গ্যাসীয়}$$

উত্তাপের সাহায্যে পদার্থের কঠিন থেকে তরল অবস্থায় পরিণত হবার নাম **গলন** (melting), আর তরলের গ্যাসীয় অবস্থায় পরিণত হবার নাম **বাষ্পীভবন** (vaporisation)। আবার ক্রমাগত তাপহ্রাসে তরল পদার্থের জমে কঠিন অবস্থা প্রাপ্তিকে বলে **কঠিনীভবন** (solidification), আর গ্যাসীয়ের তরল অবস্থা প্রাপ্তিকে বলে **তরলীভবন** (liquefaction)।

কোন কোন কঠিন বস্তু তাপ পেলে সরাসরি বাষ্পীভূত হয়ে যায়, তরল অবস্থার ভিতর দিয়ে যায় না। যেমন কর্পূর, আয়োডিন। এদের নাম **উদ্বায়ী** (volatile) পদার্থ, প্রক্রিয়াটির নাম **উর্ধ্বপাতন** (sublimation)।

পদার্থের অবস্থান্তরের সময় দেখা যায় নিচের তিনটি ঘটনা ঘটছে :

(1) পদার্থে তাপ সংযোজন বা পদার্থের তাপ বর্জন হচ্ছে।

(2) পদার্থের উষ্ণতার কোন হ্রাসবৃদ্ধি হচ্ছে না।

(3) পদার্থের আয়তনের হ্রাসবৃদ্ধি ঘটছে।

6.2 গলন ও কঠিনীভবন (Melting and freezing)

কোন কঠিন পদার্থকে নির্দিষ্ট চাপে অনেকক্ষণ ধরে উত্তাপ দিলে দেখা যায় যে, ক্রমশ ওর উষ্ণতা বাড়ছে এবং শেষ অবধি উষ্ণতা একটা বিশেষ মানে এসে আর বাড়ছে না, স্থির থাকছে এবং সঙ্গে সঙ্গে পদার্থটি গলতে শুরু

করেছে। যতক্ষণ পর্যন্ত গলন ক্রিয়াটি শেষ না হচ্ছে ততক্ষণ বাইরে থেকে ক্রমাগত তাপ দেওয়া সত্ত্বেও উষ্ণতার কোনরূপ পরিবর্তন হচ্ছে না। গলন শেষ হয়ে গেলে উষ্ণতা আবার ধীরে ধীরে বাড়তে থাকবে। এই ব্যাপারকে পদার্থের **গলন** বলে।

-10° সেন্টিগ্রেডে এক টুকরো বরফ নিয়ে তাতে তাপ প্রয়োগ করা হল। দেখা যাবে ক্রমশ উষ্ণতা বাড়ছে। যখন উষ্ণতা 0°C হল তখন বরফ গলে জল হতে আরম্ভ করবে। যতক্ষণ না সমস্ত বরফ গলে জল হচ্ছে ততক্ষণ উষ্ণতা 0°C-ই থাকবে। পরে বরফ-গলা জলের উষ্ণতা আবার ধীরে ধীরে বাড়বে।

গলনের বিপরীত প্রক্রিয়া **কঠিনীভবন**। নির্দিষ্ট চাপে তরল পদার্থ থেকে ক্রমাগত তাপ নিষ্কাশন করলে প্রথমত উষ্ণতা হ্রাস পাবে। কিন্তু একটা নির্দিষ্ট উষ্ণতায় পৌছে তরল পদার্থ জমে কঠিন হতে শুরু করবে। তখন তাপ নিষ্কাশন করা সত্ত্বেও সমস্ত তরল না-জমা পর্যন্ত উষ্ণতার কোনরূপ পরিবর্তন হবে না। এই হল **কঠিনীভবন**। উদাহরণস্বরূপ, খানিকটা বিশুদ্ধ জল নিয়ে যদি ক্রমশ ঠাণ্ডা করা যায় তবে জলের উষ্ণতা কমতে শুরু করে। কিন্তু উষ্ণতা 0°C-তে এসে ঠাণ্ডা করা সত্ত্বেও আর কমে না। ঐ মানে স্থির থাকে। এ সময়ে জল জমতে শুরু করেছে লক্ষ্য করা যায়। সমস্ত জল জমে বরফ না-হওয়া পর্যন্ত উষ্ণতা 0°C-এ স্থির থাকে। পরে বরফের উষ্ণতা ধীরে ধীরে আরো হ্রাস পেতে থাকে।

কোন পদার্থ যদি বিশুদ্ধ হয় তবে নির্দিষ্ট বায়ুচাপে সে সর্বদাই একটা নির্দিষ্ট উষ্ণতায় গলবে। সাধারণ বায়ুচাপে যে উষ্ণতায় বিশুদ্ধ পদার্থ গলে তাকে সেই পদার্থের **গলনাঙ্ক (melting point)** বলা হয়। আমরা জানি সাধারণ চাপে বরফ 0° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় গলে। কাজেই বরফের গলনাঙ্ক 0° সেন্টিগ্রেড।

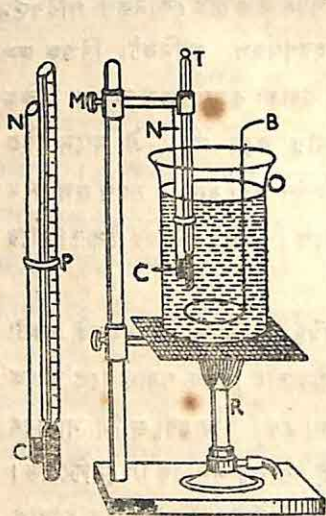
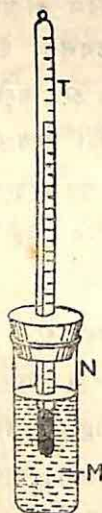
কোন তরল পদার্থ যদি বিশুদ্ধ হয় তবে নির্দিষ্ট বায়ুচাপে সে সর্বদাই একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় জমতে শুরু করে। সাধারণ চাপে যে উষ্ণতায় বিশুদ্ধ তরল জমাট বাঁধে তাকে উক্ত তরলের **হিমাঙ্ক (freezing point)** বলে। জলের হিমাঙ্ক 0° সেন্টিগ্রেড, কারণ সাধারণ চাপে জল 0°C-এ জমাট বাঁধে।

বিশুদ্ধ নিয়তাকার বস্তুর গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক একই হয়। তবে অনিয়তাকার বা অপদ্রব্যযুক্ত হলে গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক এক হয় না।

সংজ্ঞা : কোন নির্দিষ্ট চাপে যে উষ্ণতায় বিশুদ্ধ কঠিন পদার্থ গলতে শুরু করে তাকে ঐ পদার্থের গলনাঙ্ক বলে। যতক্ষণ গলন ক্রিয়া সমাপ্ত না হয় ততক্ষণ ঐ উষ্ণতা স্থির অবস্থায় থাকে।

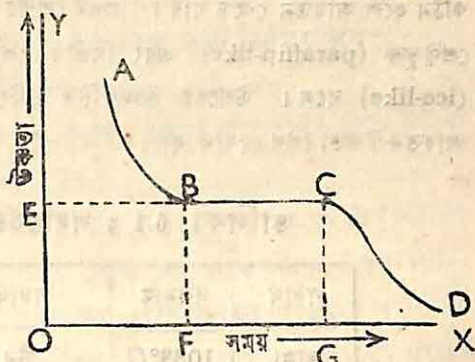
কোন নির্দিষ্ট-চাপে যে উষ্ণতায় বিশুদ্ধ তরল জমাট বাঁধতে শুরু করে তাকে ঐ তরলের হিমাঙ্ক বলে। যতক্ষণ হিমায়ন সম্পূর্ণ না হয় ততক্ষণ ঐ উষ্ণতা স্থির থাকে।

6.3 গলনাঙ্ক নির্ণয় (Determination of melting point)

পরীক্ষা 1 : কিছুটা ন্যাপথলিন গুঁড়ো করে ইঞ্চি-চারেক লম্বা একটা কৈশিক নল NC-র ভিতর ঢুকিয়ে নলের একমুখ আগুনে গালিয়ে বন্ধ করে দেওয়া হল। একটা রবারের বলয়ের সাহায্যে নলটিকে একটা থার্মোমিটার T-র বালবের সঙ্গে এঁটে দেওয়া হল। একটা পাত্র O-তে জল নিয়ে তার মধ্যে থার্মোমিটারের বালব এমনভাবে ডোবান হল যেন কৈশিকনলের মুখটি জলের উপরে থাকে। বার্নার R দিয়ে ধীরে ধীরে জল গরম করা হতে লাগল এবং মাঝে মাঝে আলোড়ক B দিয়ে জল নাড়া হল। দেখা যাবে, থার্মোমিটারে পারদ ক্রমশ উপর দিকে যাচ্ছে। উত্তপ্ত হয়ে কৈশিক নলের পদার্থ এক সময়ে গলতে শুরু করবে। যে মুহূর্তে গলন শুরু হল তখনকার উষ্ণতা থার্মোমিটার থেকে পড়া হল। সমস্ত পদার্থ গলে যাবার পর বার্নার সরিয়ে নেওয়া হল, জল ঠাণ্ডা হতে শুরু করল। আস্তে আস্তে পদার্থটি আবার জমতে শুরু করবে। জমাটবাঁধা আরম্ভ হওয়ার মুহূর্তে আবার থার্মোমিটারের পাঠ নেওয়া হল। এই দুই পাঠের গড় হল পদার্থটির **গলনাঙ্ক**। ন্যাপথলিনের ক্ষেত্রে এই গলনাঙ্ক হবে 80°C।

চিত্র 36 ক

চিত্র 36 খ

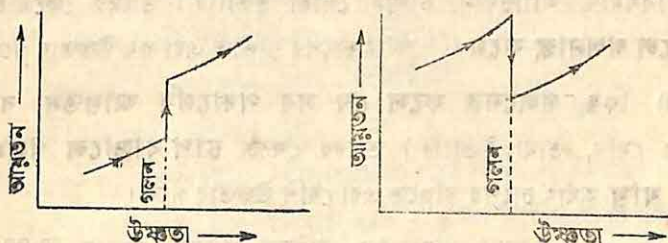
পরীক্ষা 2 : একটি পরখ নল NM-এ কিছুটা মোম নিয়ে কর্ক দিয়ে মুখ বন্ধ কর (চিত্র 36 খ)। কর্কের ছিদ্রপথে থার্মোমিটার T ঢুকাও। গরম করে ভিতরের মোম গলাও এবং উষ্ণতা আরো 10-15°C বেশি কর। এবার পরখনল ঠাণ্ডা হতে দাও এবং থার্মোমিটারের সাহায্যে আধমিনিট অন্তর

উষ্ণতা মাপ। উষ্ণতা ক্রমশ হ্রাস পাবে ও একসময় মোম জমাট বাঁধবে। যতক্ষণ জমাট বাঁধা শেষ না হচ্ছে ততক্ষণ উষ্ণতা ঠিক থাকবে। 37নং চিত্রের ন্যায় সময়-উষ্ণতার একটা লেখচিত্র পাবে। তাতে দেখা যায়, পদার্থের গলনকালে ও কঠিনীভবনের সময় উষ্ণতা স্থির থাকে (BC-অংশ)। ঐ অংশের উষ্ণতাই পদার্থটির গলনাঙ্ক বা হিমাঙ্ক।

চিত্র 37

দ্রষ্টব্য : 1. জল যে উষ্ণতায় ফোটে তার চেয়ে যাদের গলনাঙ্ক কম তাদের গলনাঙ্ক এভাবে বের করা যাবে। কিন্তু যাদের গলনাঙ্ক তার চেয়ে বেশি সেক্ষেত্রে অন্য কোন তরল পদার্থ ব্যবহার করতে হবে।

2. কোন নির্দিষ্ট বস্তুর গলনাঙ্ক বা হিমাঙ্ক নির্দিষ্ট বটে কিন্তু অন্য বস্তুর সঙ্গে মিশালে তার পরিবর্তন ঘটে। এই কারণে কোন বস্তুকে তরলে দ্রবীভূত করলে **দ্রবণের** (solution) হিমাঙ্ক ঐ তরলের হিমাঙ্কের চেয়ে কম হয়। বরফের সঙ্গে লবণ মিশালে (4 : 1) যে মিশ্রণ (হিম মিশ্রণ) হয় তার গলনাঙ্ক −32°C। সিসা, রাং, বিসমাথ, ক্যাডমিয়ম এদের প্রত্যেকের গলনাঙ্ক 200°C-এর উপরে। কিন্তু এদের মিশ্রণে তৈরি সঙ্কর ধাতুর alloy) গলনাঙ্ক 70°C।

3. গলনে বা কঠিনীভবনে আয়তনের পরিবর্তন ঘটে

কঠিন পদার্থ গলে তরল হলে আয়তন বৃদ্ধি এবং তরলের **কঠিনীভবন**

চিত্র 38

ঘটলে আয়তন হ্রাস পায়। এই হল সাধারণ রীতি। যেমন মোম, তামা

ইত্যাদি। কিন্তু এর ব্যতিক্রমও আছে। যেমন বরফ, বিসমাথ, অ্যান্টিমনি, ঢালাই লোহা। তরলে পরিণত হলে এদের আয়তন কমে, তরল থেকে কঠিন হলে আয়তন বেড়ে যায়। প্রথম শ্রেণীর পদার্থকে মোম বা প্যারাফিন শ্রেণীভুক্ত (**paraffin-like**) এবং দ্বিতীয় শ্রেণীর পদার্থকে বরফ শ্রেণীভুক্ত (**ice-like**) বলে। উপরের 38নং চিত্র দুটিতে যথাক্রমে দু-শ্রেণীর পদার্থের আয়তন-উষ্ণতা লেখ দেখান হল।

তালিকা 6.1 : পদার্থের গলনাঙ্ক

পদার্থ	গলনাঙ্ক	পদার্থ	গলনাঙ্ক
তামা	1083°C	টিন	232°C
সোনা	1063°C	ঢালাই লোহা	1200°C
রূপা	960°C	ন্যাপথালিন	80°C
সীসা	327°C	মোম	52-58°C
টাংস্টেন	3000°C	বরফ	0°C

6.4 গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব (Effect of pressure on melting point)

পদার্থের গলনাঙ্ক চাপের উপর নির্ভরশীল। চাপের হ্রাস-বৃদ্ধিতে **গলনাঙ্কেরও** হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে। চাপ ও গলনাঙ্কের সম্পর্কটি নিম্নরূপ :

(i) **গলনের ফলে যে সব পদার্থের আয়তন কমে** যায় (যেমন বরফ, বিসমাথ, অ্যান্টিমনি, ঢালাই লোহা ইত্যাদি) তাদের ক্ষেত্রে **চাপ বাড়ালে গলনাঙ্ক কমে।** অর্থাৎ চাপের বৃদ্ধিতে এরা কম উষ্ণতায় গলে।

(ii) কিন্তু, **গলনের ফলে যে সব পদার্থের আয়তন বাড়ে** (যেমন মোম, তামা ইত্যাদি) তাদের ক্ষেত্রে **চাপ বাড়ালে গলনাঙ্ক বেড়ে যায়** অর্থাৎ চাপের বৃদ্ধিতে এরা বেশি উষ্ণতায় গলে।

যেমন, প্রতি প্রমাণ বায়ুচাপের বৃদ্ধিতে বরফের গলনাঙ্ক 0·007°C কমে যায়। আর প্রতি প্রমাণ বায়ুচাপের বৃদ্ধিতে মোমের গলনাঙ্ক প্রায় 0·04°C বাড়ে।

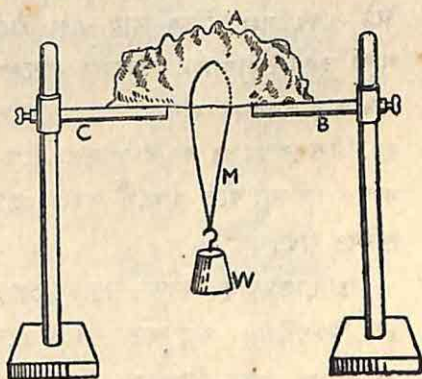
গলনাঙ্কের উপর চাপের এই প্রভাব সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়। যে সব পদার্থের গলনে আয়তন-সংকোচন ঘটে বর্ধিত চাপ তাদের ঐ সংকোচনের সুবিধা করে দেয়। বিপরীত পক্ষে, গলনে যাদের আয়তন-প্রসারণ ঘটে বর্ধিত চাপ তাদের প্রসারণে বিলম্ব ঘটায়। ফলে তারা বেশি উষ্ণতায় গলে।

6.5 পুনঃশিলীভবন (Regelation)

দু-টুকরো বরফ নিয়ে একত্রে কিছুক্ষণ জোরে চেপে ছেড়ে দিলে টুকরো দুটি একসঙ্গে জুড়ে যায়। এর কারণ কি?

চাপ প্রয়োগে বরফের গলনাঙ্ক কমে যায়। ফলে বরফের টুকরো দুটির সংযোগস্থলের গলনাঙ্ক 0°C-এর নিচে নেমে যায়, কিন্তু বরফের উষ্ণতা 0°C। কাজেই সংযোগস্থলের উষ্ণতা গলনাঙ্কের বেশি হওয়ায় ঐ স্থানের বরফ গলে জল হয়ে যায়। কিন্তু চাপ প্রত্যাহারের সঙ্গে সঙ্গে সংযোগস্থলের গলনাঙ্ক বেড়ে যায়, বরফ-গলা জল আবার জমাট বেঁধে টুকরো দুটোকে জুড়ে দেয়।

চাপ প্রয়োগে বরফের গলে যাওয়া এবং চাপ প্রত্যাহার করে আবার তাকে কঠিন অবস্থায় নিয়ে আসার এই ঘটনাকে বলা হয় **পুনঃশিলীভবন**।

বটমলির পরীক্ষা (Bottomley's experiment)-এ সম্পর্কে বটমলির পরীক্ষাটি খুবই চিত্তাকর্ষক। একটা বড় আকারের বরফ-চাঙ্ A-কে দুটি স্ট্যাণ্ডের (C ও B) উপর রাখ। একটা সরু তার M-কে চাঙের উপর দিয়ে মাঝ বরাবর গলিয়ে দিয়ে দুই প্রান্তে W ভারি ওজন ঝুলিয়ে দাও। দেখ, কিছুক্ষণ পর ওজন সহ তারটি বরফ কেটে বেরিয়ে গেল, কিন্তু বরফ চাঙটি যেমন অখণ্ড ছিল তেমনি রইল। ওজনের দরুন সরু তার বরফে বেশ চাপ দেয়। সেখানের বরফের গলনাঙ্ক কমে যায়, বরফ গলে জল হয়। ওজনের ভারে তার নিচে নেমে যায়। চাপমুক্তি গলনাঙ্ককে আবার বাড়িয়ে দেয় এবং বরফ-গলা জল আবার জমাট বেঁধে যায়।

চিত্র 39

6.6 বাষ্পায়ন ও স্ফুটন (Evaporation and boiling)

তাপ প্রয়োগের ফলে তরল পদার্থ গ্যাসীয় অবস্থায় রূপান্তরিত হয়। এর

নাম **বাষ্পীভবন** (vaporisation)। বাষ্পীভবন দুই উপায়ে হতে পারে—বাষ্পায়ন ও স্ফুটন। (i) তরলের শুধু পৃষ্ঠদেশ থেকে তরল বাষ্পে পরিণত হলে তাকে **বাষ্পায়ন** বলে। যে কোন উষ্ণতায় বাষ্পায়ন হতে পারে, তবে উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে বাষ্পায়নের হার বৃদ্ধি পায়। (ii) বায়ুচাপের উপর নির্ভর করে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরলের সমস্ত অংশ থেকে যদি দ্রুতগতিতে বাষ্পায়ন শুরু হয় তবে তাকে **স্ফুটন** বলে। যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত তরল বাষ্পে পরিণত হয় ততক্ষণ ঐ উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকে। ঐ উষ্ণতাকে উক্ত তরলের **স্ফুটনাঙ্ক** (**Boiling point**) বলে।

স্ফুটনকালে বাষ্পের চাপ বহিঃস্থ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়।

সংজ্ঞা : কোন নির্দিষ্ট চাপে যে উষ্ণতায় কোন তরলের সমস্ত অংশ ব্যাপে দ্রুত বাষ্পায়ন শুরু হয় তাকে ঐ তরলের স্ফুটনাঙ্ক বলে। যতক্ষণ সমস্ত তরলের বাষ্পায়ন না ঘটছে ততক্ষণ ঐ উষ্ণতা স্থির থাকে।

6.7 বাষ্পায়নের পরীক্ষা (Experiments on evaporation)

একটা থালায় কিছু জল রেখে দিলে দেখা যায়, ঐ জল শুকিয়ে গেছে। এ থেকে প্রমাণ হল যে, সাধারণ উষ্ণতায়ও জলের পৃষ্ঠদেশ থেকে বাষ্প উঠে বায়ুর সঙ্গে মিশে যায় এবং ধীরে ধীরে সবটা জল বাষ্পীভূত হয়ে অদৃশ্য হয়। বাষ্পায়ন তরলের পৃষ্ঠদেশ থেকে হয় বলে পৃষ্ঠদেশের ক্ষেত্রফল বাড়লে বাষ্পায়নের হার বাড়ে। থালায় ছড়ানো জল তাড়াতাড়ি বাষ্পীভূত হয়, কিন্তু বোতলের জল বাষ্পীভূত হতে অনেক বেশি সময় লাগে। ভিজে কাপড় জড়ো করে রাখলে সহজে শুকোতে চায় না, ছড়িয়ে দিলে চট্ করে শুকিয়ে যায়।

তা ছাড়া বায়ুর শুষ্কতা, বায়ু চলাচল বায়ুচাপ ইত্যাদির উপরও বাষ্পায়নের হার নির্ভরশীল। বায়ু যত শুকনো হবে, বাষ্পায়ন তত দ্রুত হবে। তাই বর্ষাকালের চেয়ে শীতকালে ভিজে কাপড় তাড়াতাড়ি শুকোয়। তরলের উপর দিয়ে বায়ু চলাচল যত বাড়বে তরল তত শীঘ্র বাষ্পীভূত হবে। এইজন্য হাওয়া দিলে ভিজে কাপড় তাড়াতাড়ি শুকিয়ে যায়।

কাজেই, বাষ্পায়ন নিম্নোক্ত **বিষয়গুলোর উপর নির্ভর** করে :

(ক) **পৃষ্ঠদেশের ক্ষেত্রফল**—তরলের পৃষ্ঠদেশের ক্ষেত্রফল বাড়ালে বাষ্পায়নের হার বেড়ে যায়।

(খ) **বায়ুর শুষ্কতা**—বায়ু যত শুকনো হবে, বাষ্পায়ন তত দ্রুত হবে।

(গ) **বায়ু চলাচল**—তরলের উপর বায়ু চলাচল যত বাড়বে, বাষ্পায়নও তত তাড়াতাড়ি ঘটবে।

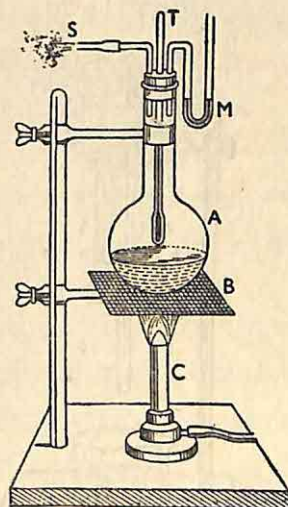
(ঘ) **তরলের উষ্ণতা**—তরল যত উষ্ণ হবে, বাষ্পায়নও তত দ্রুত ঘটবে।

(ঙ) **তরলের প্রকৃতি**—যে তরল যত উদ্বায়ী (**volatile**) সেটি তত দ্রুত বাষ্পীভূত হয়।

(চ) **বায়ুচাপ**—বায়ুচাপ বৃদ্ধির সঙ্গে বাষ্পায়ন হ্রাস পায়।

6·8 স্ফুটনের পরীক্ষা (Experiment on boiling)

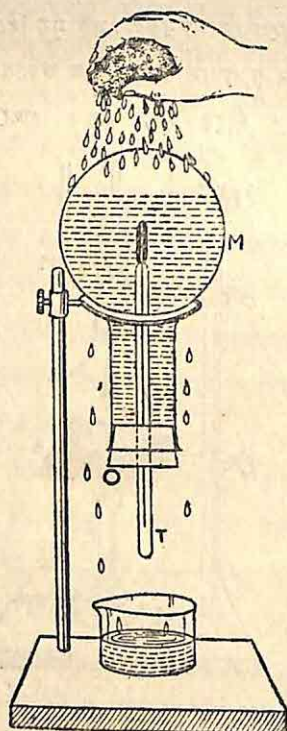
একটি কাচের ফ্লাস্ক অর্ধেকটা জলে ভর্তি করে মুখটি রবারের কর্ক দিয়ে বন্ধ কর। কর্কটিতে মোট তিনটি ছিদ্র আছে। একটি দিয়ে একটি থার্মোমিটার, দ্বিতীয় ছিদ্র দিয়ে বাষ্প বেরোনোর বাঁকা কাচনল এবং তৃতীয়টি দিয়ে একটা U-নল (চিত্রে প্রদর্শিতমতো) ঢোকাও। থার্মমিটারের বাল্‌ব যেন জলের একটু উপরে থাকে। U-নলের যে মুখ বাইরে দিকে খোলা রইল সেই মুখ দিয়ে নলের মধ্যে কিছুটা পারদ ঢাল। U-নলটি এখন চাপমান যন্ত্রের কাজ করবে।

একটি বার্নারের সাহায্যে ফ্লাস্কটিকে ধীরে ধীরে গরম কর। প্রথমে জল একটু গরম হলে উপরিভাগ থেকে কিছু কিছু বাষ্প উঠতে আরম্ভ করল, পরে জলে দ্রবিত বায়ু বুদবুদ আকারে উপরে উঠতে লাগল। পাত্রের গায়ে বুদবুদ জমতে থার্মোমিটারের পাঠ বাড়তে থাকল। যখন উষ্ণতা প্রায় 70/80° সেন্টিগ্রেড দেখ তখন ফ্লাস্কের নিচে জলীয় বাষ্পের বুদবুদ গঠিত হয়ে ওপরে উঠছে এবং ঠাণ্ডা জলের সংস্পর্শে এসে ভেঙ্গে যাচ্ছে। এই সময় জলে একটা শোঁ শোঁ শব্দ শোনা যাবে, বুদবুদগুলো নিচু থেকে ওপরে এসে ফেটে পড়বে। সমগ্র তরলে একটা আলোড়নের সৃষ্টি হবে। থার্মোমিটারে উষ্ণতা তখন প্রায় 100° ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড এর কাছাকাছি এসে স্থির হয়ে গেছে। কাচনল দিয়ে তখন প্রচুর স্টীম বেরোতে থাকবে। এরই নাম **স্ফুটন**। স্ফুটনের সময়

চিত্র 40

U-নলের দু-বাহুর পারদ একই উচ্চতায় থাকছে। U-নলের যে মুখ বাইরের দিকে খোলা, সেদিকের পারদপৃষ্ঠে যে চাপ পড়ছে তা বায়ুচাপের সমান। **কাজেই স্ফুটনকালে বাষ্পের চাপ বায়ুচাপের সমান হয়।**

প্রত্যেক তরল পদার্থের একটা স্বাভাবিক (normal) স্ফুটনাঙ্ক আছে : অর্থাৎ স্বাভাবিক বায়ুচাপে যে উষ্ণতা তরলের স্ফুটন হয় তা-ই স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক। জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক 100°C। গলনাঙ্কের মতো বিশুদ্ধ তরলের স্ফুটনাঙ্কও নির্দিষ্ট। কাজেই স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয়ের দ্বারা তরল পদার্থ চেনা এবং তার বিশুদ্ধতা নিরূপণ করা যায়।

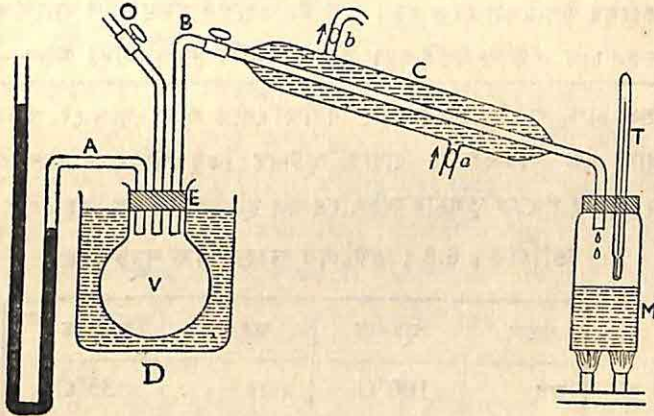
6.9 স্ফুটনাঙ্কের ওপর চাপের প্রভাব (Effect of pressure on boiling point)

চাপ কমালে তরলে স্ফুটনাঙ্ক কমে যায় অর্থাৎ অল্প উষ্ণতায় তরল ফুটতে থাকে। বিপরীতপক্ষে, চাপ বাড়ালে স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়, অর্থাৎ বেশি উষ্ণতায় ফোটে। চাপ হ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস পরবর্তী পৃষ্ঠার পরীক্ষা দুটিতে (ফ্রাঙ্কলিনের পরীক্ষা ও রেনোর পরীক্ষা) বেশ সুন্দর বোঝা যায়।

পরীক্ষা 1 : একটা গোলতল ফ্লাস্ক M-র অর্ধেকটা জলে ভর্তি করে জল ফোটাও। জলের বাষ্প পাত্রের সমস্ত বায়ুকে বের করে দেবে, এবার কর্ক O-র সাহায্যে ফ্লাস্কের মুখ বন্ধ করে কর্কের ভিতর দিয়ে একটা থার্মোমিটার T ঢোকাও এবং চিত্রে প্রদর্শিত-মতো ফ্লাস্কটি উল্টো করে বসাও। এখন জলের ওপরের অংশ জলীয় বাষ্পে পূর্ণ।

চিত্র 41

আগুন সরিয়ে নেওয়ার জলের স্ফুটন বন্ধ হবে। এবার পাত্রের ওপর ঠাণ্ডা জল ঢাল। দেখ, জল আবার ফুটতে শুরু করেছে। অথচ থার্মোমিটার তাপমাত্রা দেখাচ্ছে 100°C এর চেয়ে বেশ কয়েক ডিগ্রি কম। এর কারণ কি? ঠাণ্ডা জল ঢালার ফলে পাত্রের ভিতরের জলীয় বাষ্পের খানিকটা তরলে পরিণত

হয়েছে। তাই তরলের ওপরের চাপ অনেকটা কমেছে। চাপ কমার ফলে স্ফুটনাঙ্কও কমেছে। তাই 100°C-এর চেয়ে বেশ খানিকটা কম উষ্ণতায় জল ফুটতে শুরু করেছে। কাজেই প্রমাণ হল : **চাপ হ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস হয়।**

পরীক্ষা 2 : একটি পার্শ্বনলযুক্ত ফ্লাস্ক M-র অর্ধেকটা জলে ভর্তি করে রবারের ছিপি এঁটে দাও। ছিপিপথে ফ্লাস্কে একটি থার্মোমিটার T ঢোকাও। পার্শ্বনলটিকে একটি শীতক (condenser) C-র সঙ্গে যুক্ত কর। শীতকের বিপরীত প্রান্ত B একটি ম্যানোমিটার A ও একটি বৃহদায়তন পাত্র V-র সঙ্গে যুক্ত। বড় পাত্রটির সঙ্গে O-পথে একটি পাম্প লাগানো। এই পাম্পের সাহায্যে পাত্রে উচ্চচাপে বায়ু ঢোকানো যায় এবং ফলে ফ্লাস্কের জলের উপর বায়ুচাপ বাড়ানো চলে।

চিত্র 42

এবার একটি বার্নারের সাহায্যে ফ্লাস্কের জল ফোটাও। থার্মোমিটারের পাঠ থেকে দেখ, যখন বড় পাত্রটিতে উচ্চচাপে বায়ু ঢোকানো হচ্ছে তখন ফ্লাস্কের জল 100°C-এরও বেশি উষ্ণতায় ফুটছে। আবার যখন O-পথে নিষ্কাশন পাম্প লাগিয়ে বায়ু বের করে নেওয়া হচ্ছে তখন 100°C-এর কম উষ্ণতায় জল ফুটছে। কাজেই **চাপ বাড়লে স্ফুটনাঙ্কের বৃদ্ধি** এবং **চাপ হ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস হয়।**

দ্রষ্টব্য : চাপহ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস এবং চাপবৃদ্ধিতে স্ফুটনাঙ্কের বৃদ্ধির

বেশ কিছু ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে। এর মধ্যে শেষোক্ত ক্ষেত্রের উল্লেখযোগ্য প্রয়োগ হল **প্রেসার কুকার** (pressure cooker)।

6.10 স্ফুটনাঙ্কের উপর অপদ্রব্যের প্রভাব : তরলে যদি দ্রবিত অবস্থায় অপদ্রব্য (**impurities**) থাকে তবে ঐ তরলের স্ফুটনাঙ্ক বিশুদ্ধ অবস্থার তুলনায় বেড়ে যায়। যেমন, প্রমাণ বায়ুচাপে বিশুদ্ধ জলের স্ফুটনাঙ্ক **100°C,** কিন্তু ঐ জলে সাধারণ ধাতব লবণ দ্রবিত অবস্থায় থাকলে স্ফুটনাঙ্ক বেশ কয়েক ডিগ্রি সেন্টিগ্রেড বেড়ে যায়।

বাষ্পায়ন বনাম স্ফুটন (Evaporation vs. boiling)

বাষ্পায়ন	স্ফুটন
1. নিঃশব্দে এবং অতি ধীরে হয়।	1. স্ফুটন সশব্দে দ্রুত সংঘটিত হয়।
2. তরলের উপরিতল হতে হয়।	2. তরলের সমগ্র অংশ ব্যাপে হয়।
3. সকল চাপ ও উষ্ণতাতেই হয়।	3. নির্দিষ্ট চাপে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় হয়।

শুধু চাপ বা অপদ্রব্যই নয়, পরীক্ষা থেকে জানা গেছে যে, স্ফুটনপাত্রের উপাদান এবং পরিচ্ছন্নতার দ্বারাও স্ফুটনাঙ্ক কিছু পরিমাণে প্রভাবিত হয়। যেমন তামার পাত্রের তুলনায় কাচপাত্রে জল ফুটালে স্ফুটনাঙ্ক কিছু বেশি হয়।

তালিকা 6.2 : তরলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক

তরল	স্ফুটনাঙ্ক	তরল	স্ফুটনাঙ্ক
জল	100°C	ঈথার	35°C
পারদ	357°C	তার্পিন তেল	159°C
কোহল	78.3°C	H_2SO_4	325°C
গ্লিসারিন	280°C	CCl_4	76.7°C

6.11 বাষ্পায়নে শৈত্যের উৎপত্তি (Cold caused by evaporation)

প্রত্যেক পদার্থের অবস্থান্তরের সময় কিছুটা তাপ শোষিত বা উদ্ভূত হয়। এই তাপের নাম **লীন তাপ**। বাষ্পে পরিণত হতে তরল কিছু তাপ শোষণ করে। বাইরে থেকে এই তাপ না দিলে তরল নিজদেহ বা পারিপার্শ্বিক

থেকে তাপ সংগ্রহ করে এবং ফলে তরল বা তার পরিপার্শ্ব শীতল হয়। নিচের উদাহরণগুলো থেকে এর প্রমাণ পাওয়া যায়।

(i) শরীরে কয়েক ফোঁটা স্পিরিট ঢাললে ঠাণ্ডা বোধ হয়। স্পিরিট উদ্বায়ী বলে দ্রুত বাষ্পায়ন ঘটে এবং বাষ্পায়নের জন্য প্রয়োজনীয় তাপ দেহ থেকে সংগ্রহ করে। ফলে দেহ শীতল হয়।

(ii) ঐ একই কারণে গায়ে ঘাম থাকলে পাখার নিচে দাঁড়ালে ঠাণ্ডা লাগে; জরের সময়ে কপালে জলপটি দিলে ঠাণ্ডা বোধ হয়। গায়ে ভিজে কাপড় শুকোলে ঠাণ্ডা লাগে।

(iii) মাটির কুঁজোয় জল বেশ ঠাণ্ডা থাকে। এর কারণ কি? মাটির পাত্র সছিদ্র। এই সব সূক্ষ্ম ছিদ্র দিয়ে জল বেরিয়ে আসে এবং বাষ্পীভূত হয়। এই বাষ্পীভবনের জন্য প্রয়োজনীয় লীন তাপ ভিতরের জল থেকে সরবরাহ হয়। তাই জল ঠাণ্ডা হয়ে যায়।

6.12 লীন তাপের ধারণা (Idea of latent heat)

তাপ প্রয়োগের ফলে উষ্ণতার বৃদ্ধি ঘটে এই হল সাধারণ নিয়ম। কিন্তু আমরা আগে দেখেছি, পদার্থের অবস্থান্তর কালে অর্থাৎ কঠিন হতে তরল বা তরল হতে গ্যাসীয় অবস্থায় পরিণত হওয়ার সময় তাপ প্রয়োগেও পদার্থের উষ্ণতার বৃদ্ধি হয় না। যেমন বরফ নিয়ে তাপ দিলে দেখা যায় যে, যতক্ষণ সমস্ত বরফ গলে না যাচ্ছে ততক্ষণ উষ্ণতা 0° তে স্থির হয়ে থাকছে। তা হলে ঐ তাপ কোথায় যাচ্ছে? কঠিন বরফকে গলনের দ্বারা জলে পরিণত করার অর্থ হল বরফের অণুগুলোকে শিথিল করা। অণু শিথিল করা বা গলনের কাজে ঐ তাপ ব্যবহৃত হচ্ছে। এই তাপকে **লীন তাপ (latent heat)** বলে। কারণ উষ্ণতা বৃদ্ধিতে এর কোন বাহিক প্রকাশ নেই। এই কারণে একে থার্মোমিটারে ধরা যায় না।

আবার কিছু জলকে তাপ দিয়ে অবস্থান্তর ঘটিয়ে বাষ্পে পরিণত করতে গেলেও দেখা যাবে যতক্ষণ সমস্ত জল বাষ্পীভূত না হচ্ছে ততক্ষণ উষ্ণতা 100°C-এর এসে স্থির থাকছে। তরলকে গ্যাসীয় পদার্থে পরিণত করতে অণুগুলোকে আরও শিথিল করতে হয়। ঐ কাজে ঐ তাপ ব্যবহৃত হয় এবং এও **লীন তাপ**।

কাজেই লীন তাপ দু' প্রকার—**গলনের লীন তাপ** (latent heat of fusion) এবং **বাষ্পীভবনের লীন তাপ** (latent heat of vaporisation)।

সংজ্ঞা : উষ্ণতার পরিবর্তন না ঘটিয়ে কোন পদার্থের একক ভরকে কঠিন থেকে তরল অবস্থায় নিতে যে তাপ প্রয়োজন হয় তা ঐ পদার্থের গলনের লীন তাপ।

উষ্ণতার কোন পরিবর্তন না ঘটিয়ে কোন পদার্থের একক ভরকে তরল থেকে স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কে বাষ্পীয় অবস্থায় পরিণত করতে যে তাপ প্রয়োজন হয় তাকে ঐ পদার্থের বাষ্পীভবনের লীন তাপ বলে।

বরফের লীন তাপ = 80 ক্যালরি / গ্রাম।

স্টীমের লীন তাপ = 536 ক্যালরি / গ্রাম।

6.13 বরফের লীন তাপ নির্ণয় (Determination of latent heat of ice)

পদ্ধতি : একটা শুকনো ক্যালরিমিটার (জাল-লাগানো আলোড়ক সহ) নিয়ে ওজন কর। তারপর ওতে কিছুটা জল নিয়ে জলশুদ্ধ ওজন নাও। ঐ দুই ওজনের পার্থক্যই ক্যালরিমিটারে যেটুকু জল নেওয়া হয়েছে তার ওজন। ধর, এই ওজন m গ্রাম।

ক্যালরিমিটারে একটি থার্মোমিটার রেখে প্রাথমিক উষ্ণতার পাঠ নাও। ধর, এই উষ্ণতা t_1°C।

এবারে দু-একটি ছোট বরফ টুকরো নিয়ে ব্লটিং কাগজে বাইরের সব জল মুছে ঐ কাগজে ধরে ক্যালরিমিটারের জলে ফেল এবং আলোড়কের জালের নিচে রেখে জল আলোড়িত কর। থার্মোমিটার থেকে উষ্ণতার সর্বনিম্ন পাঠ নাও। ধর, ঐ উষ্ণতা t°C.

এখন কিছুক্ষণ অপেক্ষা কর ; ক্যালরিমিটার ও তার ভিতরের বস্তুর উষ্ণতা আবার আগের উষ্ণতায় আসতে দাও। তারপর বস্তুশুদ্ধ ক্যালরিমিটার আবার ওজন কর। দেখ, ওজন বেশি হল। বাড়তি ওজনটুকু বরফের ওজন। ধর, এই ওজন m' গ্রাম।

গণনা : ধর, W = ক্যালরিমিটারের জলসম, L = বরফের লীন তাপ।

∴ ক্যালরিমিটার কর্তৃক বর্জিত তাপ $= W(t_1 - t)$

জল কর্তৃক বর্জিত তাপ $= m(t_1 - t)$

গলনের জন্য বরফ কর্তৃক গৃহীত তাপ $= m'L$

বরফ-গলা জল কর্তৃক গৃহীত তাপ $=m't$

যেহেতু, বর্জিত তাপ = গৃহীত তাপ

$$\therefore \quad (W+m)(t_1-t)=m'L+m't$$

$$\therefore \quad L=\frac{(W+m)(t_1-t)}{m'}-t$$

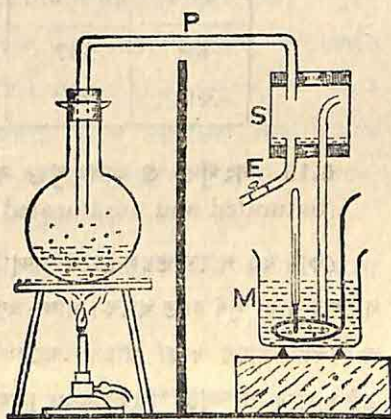
দ্রষ্টব্য : পদ্ধতিটিতে কি কি ত্রুটি ঘটতে পারে বলে মনে হয় ?

তালিকা 6.3 : গলনের লীন তাপ (ক্যা/গ্রা)

পদার্থ	লীন তাপ	পদার্থ	লীন তাপ
বরফ	80	অ্যাসেটিক অ্যাসিড	44
গন্ধক	13·2	মোম (মৌচাক)	42·3
ন্যাপথালিন	35	সীসা	5·9

6.14 স্টীমের লীন তাপ নির্ণয়
(Determination of latent heat of steam)

পদ্ধতি : একটা শুকনো ক্যালরিমিটার M নিয়ে ওজন কর। তারপর অর্ধেকের কিছু বেশি জলভর্তি করে আবার ওজন নাও। থার্মোমিটারের সাহায্যে প্রাথমিক উষ্ণতার পাঠ নাও।

একটি ফ্লাস্কে জল ফুটিয়ে স্টীম তৈরি কর। ফ্লাস্ক থেকে একটি নির্গম নল P স্টীম ট্র্যাপ (steam trap) S-এ এসেছে। ট্র্যাপ থেকে আরেকটি নল মাধ্যমে কেবল স্টীম ক্যালরিমিটার M-এ প্রবেশ করতে পারে। ট্র্যাপের উদ্দেশ্য হল স্টীমের ঘনীভবনে যে জলের সৃষ্টি হবে তাকে মাঝপথে আটকে দেওয়া। ফ্লাস্কের তাপ থেকে ক্যালরিমিটারকে রক্ষা করার জন্য উভয়ের মাঝে একটা কাঠের পার্টিশান থাকে।

চিত্র 43

স্টীমকে ক্যালরিমিটারে কিছুক্ষণ ঘনীভূত হতে দাও। তারপর ভালভাবে জল আলোড়িত করে স্টীমের উৎস কেটে দিয়ে চূড়ান্ত উষ্ণতার পাঠ নাও।

ক্যালরিমিটার ও তার ভিতরের বস্তুর উষ্ণতা কমে প্রাথমিক মানে আসা পর্যন্ত অপেক্ষা কর। তারপর বস্তুশুদ্ধ ক্যালরিমিটারের ওজন নাও। যেটুকু ওজন বাড়তি হল তা ঘনীভূত স্টীমের ওজন।

গণনা : ধর, m=প্রথমে যেটুকু জল নেওয়া হয়েছিল তার ভর ; m'= ঘনীভূত স্টীমের ভর, W=ক্যালরিমিটারের জলসম, $t°_1$C=জলের প্রাথমিক উষ্ণতা, t°C=চূড়ান্ত উষ্ণতা এবং L=ক্যালরি/গ্রামে স্টীমের লীন তাপ।

∴ 100°C-এর স্টীম ঘনীভূত হয়ে 100°C উষ্ণ জলে পরিণত হতে স্টীম যে তাপ হারালো $=m'L$ ক্যালরি।

স্টীম-উৎপন্ন জল যে তাপ হারিয়ে t°C-এ এল $=m'(100-t)$ ক্যালরি
ক্যালরিমিটার ও জলকর্তৃক গৃহীত তাপ $=(m+W)(t-t_2)$ ক্যালরি

$$\therefore \quad m'L+m'(100-t)=(m+W)(t-t_1)$$

$$\therefore \quad L=\frac{(m+W)(t-t_1)}{m}-(100-t)$$

দ্রষ্টব্য : পদ্ধতিটিতে কি কি ত্রুটি ঘটতে পারে বলে মনে হয় ?

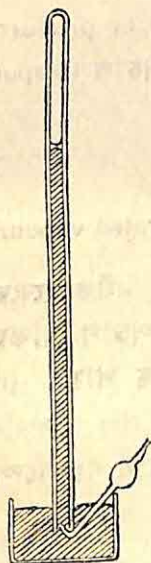
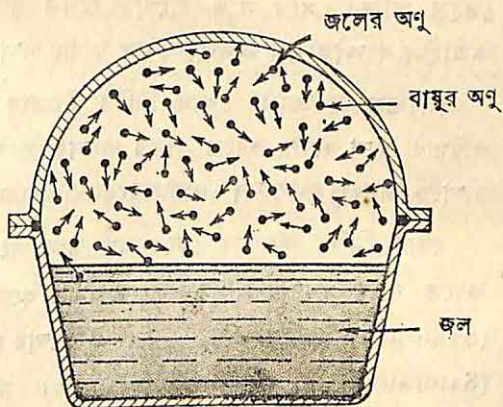
তালিকা 6.4 : বাষ্পীভবনের লীন তাপ (ক্যা/গ্রা)

পদার্থ	লীন তাপ	পদার্থ	লীন তাপ
জল	537	ঈথার	90
কোহল	362	তার্পিন তেল	70

6.15 সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্প : বাষ্পচাপ
(Saturated and unsaturated vapour : Vapour pressure)

কোন বদ্ধ পাত্রে তরল রেখে বাষ্পায়িত হতে দিলে আবদ্ধ অঞ্চলটি ক্রমে বাষ্পের দ্বারা পূর্ণ হতে থাকে। বাষ্প-অণুগুলো চারধারে ইতস্তত ঘোরাফেরা করে ও দেওয়ালগাত্রে ধাক্কা খায়। ফলে পাত্রের দেয়ালে একটি চাপের সৃষ্টি হয়। এই চাপকে **বাষ্পচাপ** (vapour pressure) বলে। কোন কোন বাষ্প-অণু আবার তরল পৃষ্ঠেও আঘাত করে এবং তরলে প্রবেশ করে। শেষে এক সময় বাষ্পায়িত অণুর সংখ্যা এবং তরলে পুনঃপ্রবিষ্ট অণুর সংখ্যা সমান হয়ে আসে। এই সাম্য-অবস্থায় (dynamic equilibrium) যে হারে বাষ্প-অণুর সৃষ্টি হয়, ঠিক সেই হারেই বাষ্প-অণু তরলে প্রবেশ করে। তখন ঐ আবদ্ধ স্থান বাষ্পের

দ্বারা **সংপৃক্ত** (saturated) হয়। অর্থাৎ ঐ স্থান আর বেশি সংখ্যায় বাষ্প অণু ধারণ করতে পারে না।

পরীক্ষা ঃ পারদপূর্ণ একটি (চিত্র 45) ব্যারোমিটার নলকে একটি পারদ পাত্রে উল্টে ধর। নলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা বায়ুচাপের পরিমাপক। বাঁকা পিপেটের সাহায্যে কিছু তরল, ধর জল, ফোঁটা ফোঁটা করে নলে ঢোকাও। জল হালকা বলে পারদস্তম্ভের ভিতর দিয়ে উপরে উঠে টরিসেলীয় শূন্য প্রদেশে এসে সম্পূর্ণ বাষ্পায়িত হয়ে যাবে।

চিত্র 44

লক্ষ্য কর, জল বিন্দুর বাষ্পায়নের ফলে পারদস্তম্ভ কিছুটা নেমে গেছে। বাষ্পের চাপ-ই এর কারণ এবং পারদস্তম্ভ যতটুকু নামলো তা-ই ঐ বাষ্পচাপের পরিমাপক। আরও একটু একটু করে জল নলে প্রবেশ করাও, পারদস্তম্ভও একটু একটু করে নিচে নামবে। শেষে দেখ, পারদশীর্ষে যখন একটু জল জমছে তখন পারদস্তম্ভ আর নামছে না। অর্থাৎ বাষ্পচাপ আর পরিবর্তিত হচ্ছে না। পারদস্তম্ভের শীর্ষস্থ অঞ্চল তখন জলীয় বাষ্পে সংপৃক্ত।

সিদ্ধান্ত ঃ পরীক্ষাটি থেকে নিম্নোক্ত সিদ্ধান্তগুলো করা চলে।

1. **বাষ্প চাপ প্রদান করে।**

2. **কোন বদ্ধ অঞ্চলের বাষ্প ধারণ করার একটা সর্বোচ্চ সীমা আছে।** ঐ সীমায় এলে ঐ অঞ্চলটি বাষ্পে সংপৃক্ত হয়েছে বলা হয়। ঐ বাষ্পকে **সংপৃক্ত বাষ্প** এবং ওর চাপকে **সংপৃক্ত বাষ্পচাপ** বলে।

চিত্র 45

কোন বদ্ধ স্থানে তরলের সংস্পর্শে বাষ্প থাকলে ঐ বাষ্প সর্বদাই সংপৃক্ত।

উপরের পরীক্ষায় উষ্ণতা হ্রাসবৃদ্ধির ব্যবস্থা থাকলে দেখা যেত :

3. **উষ্ণতা বৃদ্ধি করলে** কোন বদ্ধ অঞ্চলের **বাষ্পধারণ ক্ষমতা বেড়ে যায়।** সঙ্গে সঙ্গে বাষ্পের চাপও বৃদ্ধি পায়। তেমনি **উষ্ণতা কমালে বাষ্পধারণ ক্ষমতা কমে যায়,** বাষ্পচাপও হ্রাস পায়।

বিভিন্ন সংজ্ঞা : কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন বদ্ধ স্থান সর্বোচ্চ যে পরিমাণ বাষ্প ধারণ করতে পারে বাষ্পের পরিমাণ তার চেয়ে কম হলে ঐ বাষ্পকে **অসংপৃক্ত বাষ্প** (unsaturated vapour) বলে।

কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন বদ্ধ স্থান সর্বোচ্চ যে পরিমাণ বাষ্প ধারণ করতে পারে বাষ্পের পরিমাণ তার সমান হলে ঐ বাষ্পকে **সংপৃক্ত বাষ্প** (Saturated vapour) বলে। এবং ঐ বাষ্পের চাপকে **সংপৃক্ত বাষ্পচাপ** (Saturated vapour pressure) বলে। সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপকে **জলীয় টান** (aqueous tension) বলে।

কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন বদ্ধ স্থানে বাষ্প যে চাপ প্রদান করে সংপৃক্ত বাষ্পের ক্ষেত্রে তার মান সর্বোচ্চ। কাজেই সংপৃক্ত বাষ্পচাপ হল নির্দিষ্ট উষ্ণতায় **বাষ্পের সর্বোচ্চ চাপ** (Maximum vapour pressure : M.V.P)। সংপৃক্ত বাষ্পের চাপকে কখন কখন শুধু **বাষ্পচাপ** (Vapour pressure) বলে।

6.16 সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্পের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of saturated & unsaturated vapour)

সংপৃক্ত বাষ্পের নিম্নোক্ত বৈশিষ্ট্যগুলো পরীক্ষা দ্বারা নির্ণীত হয়েছে : (i) **একই উষ্ণতায় বিভিন্ন তরলের সংপৃক্ত বাষ্পচাপ বিভিন্ন ;** (ii) **উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সংপৃক্ত বাষ্পচাপ বৃদ্ধি পায় ;** (iii) **সংপৃক্ত বাষ্প বয়েল বা চার্লস সূত্র মানে না** এবং (iv) রাসায়নিক বিক্রিয়া না ঘটলে **সংপৃক্ত বাষ্পচাপ অন্য কোন গ্যাস বা বাষ্পের উপস্থিতি দ্বারা প্রভাবিত হয় না।**

অসংপৃক্ত বাষ্পের নিম্নোক্ত বৈশিষ্ট্যও তেমনি পরীক্ষায় জানা গেছে : (i) **অসংপৃক্ত বাষ্পের ব্যবহার সাধারণ গ্যাসের ন্যায় ;** (ii) **অসংপৃক্ত বাষ্প বয়েল বা চার্লস সূত্র** (মোটামুটি) **মেনে চলে।**

তালিকা 6.5 : সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপ (রেনোর তালিকা)

উষ্ণতা (°C)	চাপ (সেমি)	উষ্ণতা (°C)	চাপ (সেমি)	উষ্ণতা (°C)	চাপ (সমি)
0	0·46	40	5·51	80	35·5
10	0·92	50	9·23	90	52·5
20	1·72	60	14·9	100	76·0
30	3·17	70	23·3	120	148·9

6.16-1 গ্যাস ও বাষ্পের পার্থক্য (Gas vs. Vapour)

গ্যাসীয় অবস্থায় কোন পদার্থকে শুধু চাপের সাহায্যে তরলে পরিণত করতে হলে তাকে সর্বদাই একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতার নিচে থাকতে হয়। ঐ উষ্ণতাকে **সংকট উষ্ণতা** (Critical temperature) বলে। বিভিন্ন পদার্থের সংকট উষ্ণতা বিভিন্ন। কোন বাষ্প সংকট উষ্ণতার নিচে থাকলে তাকে **বাষ্প** বলে, সংকট উষ্ণতার উর্ধ্বে থাকলে **গ্যাস** বলে।

6.17 বায়ুর আর্দ্রতা (Humidity of air)

'শুকনো বায়ু', 'ভিজে বায়ু' এমন ধরনের কথা আমরা প্রায়ই বলি বা শুনি। বায়ুতে জলীয় বাষ্পের উপস্থিতি বা অনুপস্থিতি সম্পর্কে আমাদের অনুভূতি থেকে ঐ ধরনের কথা আমরা বলি। বস্তুত ঐ অনুভূতি দুটি পরিমাপযোগ্য বিষয়ের উপর নির্ভর করে :

(i) বায়ুতে জলীয় বাষ্পের প্রকৃত পরিমাণ, এবং

(ii) উপস্থিত পরিস্থিতিতে বায়ুকে সম্পৃক্ত করতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের পরিমাণ।

আরও পরিষ্কার করে বলতে গেলে, বায়ুর শুষ্কতা বা আর্দ্রতা সংক্রান্ত আমাদের অনুভূতি উপরি-উক্ত বিষয় দুটির অনুপাতের উপর নির্ভর করে।

বায়ুর আর্দ্রতা দু-ভাবে প্রকাশ করা যায়। যথা

চরম আর্দ্রতা (Absolute humidity)—নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প প্রকৃত বর্তমান রয়েছে তাকে **চরম আর্দ্রতা** বলে। সাধারণত গ্রাম/ঘন মিটার এককে এটি প্রকাশ করা হয়। বায়ুর চরম আর্দ্রতা 0.15—একথার অর্থ এক ঘন মিটার বায়ুতে 0.15 গ্রাম জলীয় বাষ্প রয়েছে।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা (Relative humidity)—কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একটি নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে পরিমাণ (ভর) জলীয় বাষ্প প্রকৃত

রয়েছে, আর ঐ উষ্ণতায় ঐ আয়তনের বায়ুকে সংপৃক্ত করতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্পের প্রয়োজন—এই দু'য়ের অনুপাতকে **আপেক্ষিক আর্দ্রতা** বলে। কাজেই আপেক্ষিক আর্দ্রতা **সংপৃক্ততার মাত্রা** (degree of saturation) বা বায়ুর **আর্দ্র অবস্থা** (hygrometric state) প্রকাশ করে।

সাধারণত আপেক্ষিক আর্দ্রতা শতকরা হিসাবে প্রকাশ করা হয়। ধরা যাক, এক ঘনমিটার বায়ুতে, একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, 15 গ্রাম জলীয় বাষ্প রয়েছে ; আর ঐ উষ্ণতায় 30 গ্রাম জলীয় বাষ্প এক ঘনমিটার বায়ুকে সংপৃক্ত করতে প্রয়োজন। অতএব, আপেক্ষিক আর্দ্রতা 15/30 বা $\frac{1}{2}$ বা 50%.

শিশিরাঙ্ক (Dew point) : আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংশ্লিষ্ট একটি প্রয়োজনীয় রাশি হল **শিশিরাঙ্ক**। সাধারণ উষ্ণতায় বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে তাতে ঐ উষ্ণতায় বায়ু সংপৃক্ত হয় না। কিন্তু উষ্ণতা কমালে কোন বদ্ধ অঞ্চলের বাষ্পধারণ ক্ষমতা কমে। ফলে বায়ুর উষ্ণতা ক্রমাগত কমালে এমন একটি উষ্ণতা আসবে **যে উষ্ণতায় কোন নির্দিষ্ট ভরের বায়ু ওতে বর্তমান জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হয়। ঐ উষ্ণতাকে শিশিরাঙ্ক বলে।**

সংজ্ঞানুসারে, **আপেক্ষিক আর্দ্রতা**

$$=\frac{t^\circ\text{C এ } V \text{ আয়তন বায়ুতে জলীয় বাষ্পের ভর}}{t^\circ\text{C-এ } V \text{ আয়তন বায়ুকে সংপৃক্ত করতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভর}}$$

$$=\frac{t^\circ\text{C-এ বায়ুতে বর্তমান জলীয় বাষ্পের চাপ}}{t^\circ\text{C-এ বায়ুকে সংপৃক্ত করতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের চাপ}}$$

($\because$ বয়েল সূত্রানুসারে, অসংপৃক্ত বাষ্পের ভর ও চাপ প্রায় সমানুপাতী)

কিন্তু, নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে বর্তমান জলীয় বাষ্পের চাপ = শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ।

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{t^\circ\text{C উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}} = \frac{f}{F}$$

$$\therefore \text{ শতকরা হিসাবে, আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{f}{F}\times 100.$$

ধরা যাক, বায়ুর উষ্ণতা = 32°C, শিশিরাঙ্ক = 24°C ; 32°C-এ সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 36.04 মি. মি., 24°C-এ সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 23·08 মি. মি.

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{23\cdot08}{36\cdot04}\times 100\% = 64\%$$

বাষ্পায়নের হার বায়ুর চরম আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে না, আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে। বদ্ধ ঘরে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা যখন 50-60 তখনই আমাদের আরামপ্রদ অনুভূতি হয়। বেশি হলে ভ্যাপসা ভাব কমলে শুষ্ক ভাবের অনুভূতি হয়।

6.16 শিশির, কুয়াশা ও মেঘ (Dew, Fog and Cloud)

শিশির—দিনের বেলায় ভূ পৃষ্ঠ ও তৎসংলগ্ন বিভিন্ন বস্তু সূর্য তাপে উত্তপ্ত হয়। সঙ্গে সঙ্গে সংলগ্ন বায়ুও উত্তপ্ত হয়। ফলে বায়ুতে জলীয় বাষ্প বেশি থাকলেও দিনের বেলায় বায়ু ঐ জলীয় বাষ্পে সংপৃক্ত হয় না। কিন্তু রাত্রিবেলা সূর্যতাপ না থাকায় ভূ-পৃষ্ঠ, তৎসংলগ্ন বস্তু ও বায়ুমণ্ডল তাপ বিকিরণ করে ক্রমে ঠাণ্ডা হয় ; রাত্রিশেষে বায়ুমণ্ডল শিশিরাঙ্কে পৌঁছে গেলে বায়ু জলীয় বাষ্পের দ্বারা সংপৃক্ত হয়। উষ্ণতা আরো কমলে অতিরিক্তি জলীয় বাষ্প ঘাসের উপরে, গাছের পাতায় বিন্দু বিন্দু জলকণারূপে জমে। একে আমরা **শিশির** বলি। শরৎকালে শিশিরের প্রাদুর্ভাব বেশি হয়।

শিশির গঠনে স্পষ্টত নিম্নোক্ত শর্তগুলি পূরণ হওয়া চাই :

(i) **নির্মেঘ আকাশ**—রাত্রে আকাশে মেঘ থাকলে বিকিরণে তাপের হ্রাস বাধা পায়। ফলে মেঘাচ্ছন্ন রাত্রি মেঘমুক্ত রাত্রের চেয়ে গরম হয়। শিশির গঠনের পক্ষে এটি প্রতিকূল অবস্থা।

(ii) **বায়ু প্রবাহের অনুপস্থিতি**—বায়ু প্রবাহের ফলে কোন ঠাণ্ডা বস্তুর সংস্পর্শে বায়ু বেশিক্ষণ থাকতে পারেনা ; কাজেই বায়ুর পক্ষে শিশিরাঙ্কে পৌছানো কঠিন হয়।

(iii) **জলীয় বাষ্পের আধিক্য**—যদি প্রারম্ভিক আর্দ্রতা বেশি হয়, তবে শিশিরাঙ্কে পৌছতে বেশি ঠাণ্ডা হওয়ার প্রয়োজন করে না।

(iv) **ভাল বিকিরকের সান্নিধ্য**—এই জাতীয় বস্তু দ্রুত শীতল হয় এবং সংলগ্ন বায়ুকে শিশিরাঙ্কে নামিয়ে আনে।

কুয়াশা—যদি কোন কারণে বায়ুমণ্ডলের বিস্তীর্ণ অঞ্চলের উষ্ণতা শিশিরাঙ্কের নীচে নেমে যায় তবে ঐ বিস্তীর্ণ অঞ্চল জুড়ে জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হয়ে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণারূপে ধূলিকণা, কয়লার গুঁড়ো ইত্যাদি আশ্রয় করে বায়ুতে ভাসতে থাকে। একে **কুয়াশা** বলে। শীতের রাত্রে প্রায়ই কুয়াশা হতে দেখা যায়। কখন কখন কুয়াশা এত ঘন হয় যে, সামান্য দূরের

জিনিসও দেখা যায় না। সূর্যোদয়ের পরে উষ্ণতা বাড়লে ধীরে ধীরে জলকণা বাষ্পীভূত হয়। কুয়াশাও দূর হয়।

শিল্পাঞ্চলে শীতকালে ধোঁয়া ও কুয়াশা মিলে এক নতুন উপদ্রব **ধোঁয়াশা** (smoke+fog)=smog-এর সৃষ্টি হয়।

পর্বতের গায়ের কুয়াশা পর্বত গাত্রের ঠাণ্ডা বায়ুর সঙ্গে উপত্যকার উষ্ণ সংপৃক্ত বায়ুর সংস্পর্শ।

মেঘ : জলীয় বাষ্প শুকনো বায়ুর চেয়ে হালকা। কাজেই জলীয় বাষ্পপূর্ণ বায়ু পরিচলন চক্রের ফলে ক্রমশ উপরে উঠে যায়। উপরে বায়ুচাপ কম বলে এই বায়ু প্রসারিত হয়। ফলে এর উষ্ণতা আরও কমে যায়। আবার ভূ-পৃষ্ঠ থেকে যত উপরে ওঠা যায়, উষ্ণতা তত কমতে থাকে। উপরের শীতল বায়ুর সংস্পর্শে প্রসারিত জলীয় বাষ্প আরও শীতল ও ঘনীভূত হয়ে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণার সৃষ্টি করে। জলকণাগুলো অত্যন্ত সূক্ষ্ম বলে অভিকর্ষের বিরুদ্ধেও বায়ুতে ভেসে থাকে। এক এক খণ্ড মেঘ এরূপ অসংখ্য জলকণার সমষ্টি।

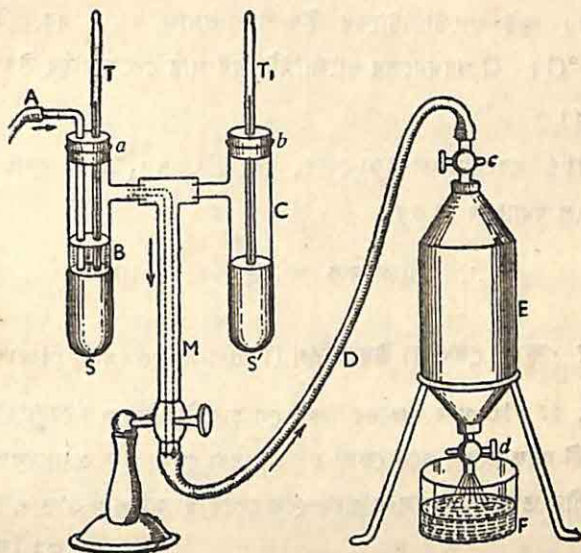
কাজেই মেঘ ও কুয়াশার সৃষ্টির কারণ একই। **উচ্চ বায়ুস্তরে হলে মেঘ বলি। নিম্ন বায়ুস্তরে হলে বলি কুয়াশা।**

মেঘের ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণা কোনও কারণে একত্রে মিলিত হলে বড় বড় জলকণার আকার ধারণ করে। এ অবস্থায় আর ভেসে থাকা চলে না। অভিকর্ষের টানে জলকণা নিচে **বৃষ্টি**-রূপে পড়ে।

6.17 হাইগ্রোমিতি : রেনোর হাইগ্রোমিটার (Hygrometry : Regnault's hygrometer)

বায়ুর আর্দ্রতা পরিমাপ করাকেই **হাইগ্রোমিতি** বলে। আর, এই পরিমাপ কাজে যে সব যন্ত্রাদি ব্যবহৃত হয় তাকে বলে **হাইগ্রোমিটার**। নানা ধরনের হাইগ্রোমিটার আছে। এর মধ্যে রেনোর হাইগ্রোমিটার বিশেষ উল্লেখযোগ্য।

রেনোর হাইগ্রোমিটার—যন্ত্রটির মূল অংশ দুটি কাচের পরখনল—B ও C। একটি লম্বা পিতলের ফাঁপা দণ্ড M বায়ু নিরুদ্ধ অবস্থায় পরখনল দুটির সঙ্গে যুক্ত। পরখনল দুটির বৈশিষ্ট্য হল যে, এদের নীচের অংশ কাচের বদলে পাতলা চকচকে রূপোর পাতে তৈরি। শিশিরের গঠন ও অন্তর্ধান সহজে বোঝার জন্যই এই ব্যবস্থা। পরখনল দুটিতে কর্কের সাহায্যে দুটি থার্মোমিটার T, T_1 ঢোকানো আছে। B নলটিতে কিছু ঈথার এবং C নলে

শুধু বায়ু থাকে। একটি ফাঁপা বাঁকানো নল A মারফত B পরখনলে বায়ু প্রবেশ করতে পারে। A নলটি B-র তলদেশ পর্যন্ত বিস্তৃত। M নলটিকে

চিত্র 46

রবার টিউবের সাহায্যে একটি জলপূর্ণ বায়ুশোষণ পাত্র E (aspirator)-র সঙ্গে যুক্ত। E-র উপরে-নীচে দুটি ষ্টপকক c ও d থাকে ; C খুলে পাত্রকে জলে পূর্ণ করা যায় ; c ও d একসঙ্গে খুলে পাত্র থেকে জল বের করা হয়। M এর সঙ্গে B পরখনলের সংযোগ থাকে, কিন্তু C পরখ নলের কোনরূপ সংযোগ থাকে না। শিশিরের গঠন ও অন্তর্ধানের তুলনার জন্য এটি প্রয়োজন।

পরীক্ষা c ও d স্টপকক খুলে জল F পাত্রে ফেললে A নলপথে বায়ু B-তে ঢুকে বুদ্বুদকারে ঈথারের মধ্য দিয়ে M ও D পথে বায়ু শোষণপাত্রে জলের উপর শূন্য স্থান অধিকার করে। ফলে B পরখনলের ঈথার দ্রুত বাষ্পীভূত হয় এবং রূপার পাত থেকে লীন তাপ নেয়। এতে রূপার পাত ও চারপাশের বায়ু ক্রমে ঠাণ্ডা হয় এবং শিশিরাঙ্কে পৌঁছলে রূপোর পাতের গায়ে শিশির বিন্দু জমে। তখন B পরখনলের রূপোর পাতের উষ্ণতা C পরখনলের পাতের উষ্ণতার চেয়ে কম। দূর থেকে দূরবীনের সাহায্যে (কাছে এলে নিঃশ্বাসে ও দেহতাপে শিশিরাঙ্ক পাল্টাতে পারে) দুই নলের নিম্নাংশ লক্ষ্য কর। যে মুহূর্তে B পরখনলে শিশিরবিন্দু দেখা যাবে সেই মুহূর্তে T থার্মোমিটারের পাঠ নাও ;

D স্টপকক বন্ধ করে জল-পড়া ও ঈথারে আলোড়ন বন্ধ কর। এবারে উষ্ণতা বাড়তে থাকবে, শিশির বিন্দু অদৃশ্য হবে। এই মুহূর্তে দুই পরথনলের উজ্জ্বলতা সমান হয়। দুই থার্মোমিটারের উষ্ণতাও সমান হয়। ধর, দুই উষ্ণতার গড় মান t°C। C পরথনলের থার্মোমিটারের পাঠ থেকে বায়ুর উষ্ণতা t_1°C জেনে নাও।

গণনা : রেনোর তালিকা থেকে, ধর, t°C ও t_1°C-এ সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ যথাক্রমে F ও f।

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{f}{F} \times 100\%$$

6.17 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. 16 গ্রাম ওজনের একটি লোহার টুকরোকে 112.5°C উষ্ণতায় এনে একটি বরফ ব্লকের গর্তে ফেলা হল। দেখা গেল, 2.5 গ্রাম বরফ গলেছে। বরফের লীন তাপ 80 ক্যালরি/গ্রাম হলে লোহার আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর। (কঃ বিঃ 1947)

ধর, s=লোহার আপেক্ষিক তাপ।

2.5 গ্রাম বরফ গলার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $=2.5 \times 80$ ক্যালরি

16 গ্রাম লোহা কর্তৃক বর্জিত তাপ $=16 \times s \times (112.5-0)$

$\therefore\ 16 \times s \times 112.5 = 2.5 \times 80$; সমাধানান্তে $s=0.11$

উদা. 2. 100° গ্রাম তামার পেরেককে 100°C উষ্ণতায় এনে একটি ক্যালরিমিটারে ফেলা হল। ঐ ক্যালরিমিটারের ভর 100 গ্রাম এবং ওতে 40 গ্রাম বরফ ও জলের মিশ্রণ আছে। চূড়ান্ত উষ্ণতা 10°C হলে কত বরফ ছিল নির্ণয় কর। তামার আপেক্ষিক তাপ =0.09 এবং বরফের লীনতাপ =80 ক্যালরি / গ্রাম। (আই. আই টি. 1962)

ধর, m গ্রাম বরফ ছিল। $\therefore$ জল $=(40-m)$ গ্রাম। এবং বরফ মিশ্রিত জলের প্রাথমিক উষ্ণতা =0°C

এখানে, পেরেক তাপ বর্জন করবে এবং ঐ তাপে প্রথমে সব বরফ গলবে, পরে বরফগলা জলের উষ্ণতা 10°C এ উঠবে।

পেরেক কর্তৃক বর্জিত তাপ $=100 \times 0.09 \times (100-10)$ ক্যালরি

সমস্ত বরফ গলাতে প্রয়োজনীয় তাপ $=m \times 80$ ক্যালরি

ক্যালরিমিটার ও জলের উষ্ণতা $10°C$ করতে প্রয়োজনীয় তাপ

$$=(100\times0{\cdot}09+40)\times10$$

$$\therefore\quad (100\times0{\cdot}09+40)\times10+m\times80=100\times0{\cdot}09\times(100-10)$$

সমাধান করে $m=4$ গ্রাম

উদা. 3. একটি রেফ্রিজারেটার 20 মিনিটে 25°C উষ্ণতার 20 গ্রাম জলকে $-10°C$ উষ্ণতার বরফে পরিণত করে। প্রতি মিনিটে কত তাপ নিষ্কাশিত হয়। বরফের আপেক্ষিক তাপ $=0{\cdot}5$ এবং লীনতাপ $=80$।

প্রথমে 25°C উষ্ণতার 20 গ্রাম জল তাপ হারিয়ে 0° উষ্ণতার 20 গ্রাম জলে পরিণত হবে। পরে লীনতাপ হারিয়ে ঐ জল 0°C-উষ্ণতার বরফে পরিণত হবে, আরও পরে 0°C উষ্ণতার 20 গ্রাম বরফ তাপ হারিয়ে $-10°C$ উষ্ণতার বরফে পরিণত হবে।

$$\therefore\quad \text{মোট অপসারিত তাপ}=\overline{20\times1\times(25-0)}+\overline{20\times80}$$

$$+\overline{20\times0{\cdot}5\times\{0-(-10)\}}=2200 \text{ ক্যালরি}$$

(তিনটি রেখাঙ্কন তিন দফায় অপসারিত তাপ সূচিত করছে)

$\therefore$ প্রতি মিনিটে অপসারিত তাপ $=2200/20=110$ ক্যালরি

উদা. 4. 1 কিলোগ্রাম বরফ এবং 1 কিলোগ্রাম জলের একটি মিশ্রণের ভিতর 100 গ্রাম স্টীম পাঠানো হল। সমস্ত স্টীমই ঘনীভূত হল। মিশ্রণের চূড়ান্ত উষ্ণতা কত হবে? কত বরফ গলবে? বরফের লীনতাপ $=80$, স্টীমের লীন তাপ $=540$ **(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1964)**

বরফ ও জলের মিশ্রণের প্রাথমিক উষ্ণতা $=0°C$

100 গ্রাম স্টীম 100°C উষ্ণ জলে পরিণত হলে বর্জিত তাপ

$$=100\times540=54{,}000 \text{ ক্যালরি।}$$

এই জল 100°C থেকে 0°C এ ঠাণ্ডা হতে যে তাপ বর্জন করবে তার পরিমাণ $=100\times(100-0)=10{,}000$ ক্যালরি।

$\therefore$ মোট বর্জিত তাপ $=54{,}000+10{,}000=64{,}000$ ক্যালরি

1 কিলো বরফ গলতে মোট তাপ $=1000\times80=80{,}000$ ক্যালরি

$\therefore$ সমস্ত বরফ গলতে পারবে না। কাজেই শেষ উষ্ণতা $=0°C$; 64,000 ক্যালরি তাপ $64{,}000/80=800$ গ্রাম পরিমাণ বরফ গলাবে।

উদা. 5. কোনও দিনের বায়ুর উষ্ণতা 18·5°C এবং শিশিরাঙ্ক 12°C ; 18°C, 19°C এবং 12°C উষ্ণতায় জলীয় টান যথাক্রমে 15·46, 15·86 এবং 10·46 মিমি হলে ঐ দিনের আঃ আদ্র্তা কত? **(উঃ মাঃ কম্পার্ট 1962)**

18°C-এ জলীয় টান=15·46 মিমি.

19°C-এ „ „ =15·86 মিমি.

∴ 18°C এর কাছাকাছি 1°C উষ্ণতা পরিবর্তনে জলীয় বাষ্পচাপের পরিবর্তন=(15·86 – 15·46) = 0·4 মিমি.

∴ 18·5°C এ জলীয় টান হবে=15·46+0·2=15·6; মিমি

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{10\ 46}{15 \cdot 66} \times 100 = 66 \cdot 7\%$$

উদা. 6. কোনও সময় একটি আবদ্ধ স্থানের উষ্ণতা 15°C এবং শিশিরাঙ্ক 8°C ; যদি উষ্ণতা হ্রাস পেয়ে 10°C হয়, তবে শিশিরাঙ্ক পরিবর্তিত হয়ে কত হবে? 7°C এবং 8°C-এ জলীয় টান যথাক্রমে 7·49 মিমি. এবং 8·02 মিমি.।

(পাটনা, 1941)

যেহেতু স্থানটি আবদ্ধ, অতএব আয়তন অপরিবর্তিত থাকবে এবং বায়ু অসংপৃক্ত বলে চার্লস সূত্র মেনে চলবে।

$$\therefore \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \text{ বা } \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\therefore \frac{\text{10°C-এ বায়ুচাপ}}{\text{15°C- বায়ুচাপ}} = \frac{10+273}{15+273} = \frac{283}{288}$$

কিন্তু 15°C-এ বায়ুচাপ=শিশিরাঙ্কে বা 8°C এ সংপৃক্ত বায়ুচাপ = 8.02 মিমি

∴ 10°C এ বায়ুচাপ=8.02 × 283/288=7.88 মিমি.

∴ নতুন শিশিরাঙ্ক=যে উষ্ণতায় সংপৃক্ত বায়ুচাপ 7.88 মিমি।

প্রদত্ত তথ্য থেকে দেখা যায় যে, 1°C উষ্ণতা পরিবর্তনে জলীয় টানের পরিবর্তন=(8.02 – 7.49)=0.53 মিমি.

∴ (8.02 – 7.88) বা 0.14 মিমি টানের পরিবর্তনে প্রয়োজনীয় উষ্ণতার পরিবর্তন $=\frac{0.14}{0.53}=0.26°C$; ∴ শিশিরাঙ্ক=8 – 0·26=7.74°C

অনুশীলনী

1. দৃষ্টান্ত সহকারে বোঝাও যে, একই পদার্থ একাধিক ভৌত অবস্থায় থাকতে পারে।

2. সংজ্ঞা লেখঃ কঠিনীভবন, গলন, বাষ্পায়ন, স্ফুটন, গলনাঙ্ক, স্ফুটনাঙ্ক, লীন তাপ।

3. স্ফুটন ও বাষ্পায়নের সাদৃশ্য ও পার্থক্য নিয়ে আলোচনা কর।

4. বাষ্পায়নের হার কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে তা উদাহরণ সহ আলোচনা কর।

5. কি করে পরীক্ষার সাহায্যে মোমের গলনাঙ্ক ও জলের স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় করবে?

6. চাপবৃদ্ধিতে স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে, কমলে স্ফুটনাঙ্ক কমে—প্রমাণ কর।

7. লীন তাপ বলতে কি বোঝ? লীন তাপ কয় প্রকার ও কি কি? ওদের সংজ্ঞা লেখ। গ্রাহ্যতাপ ও লীনতাপের তুলনা কর।

8. পুনঃশিলীভবন বলতে কি বোঝায়? বিষয়টি দেখানোর জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

9. কি ভাবে লীন তাপের সাহায্যে গলন ও কঠিনীভবন ব্যাখ্যা করবে? **(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1964)**

10. তরলের 'সংপৃক্ত বাষ্পচাপ' বলতে কি বোঝায়? সংপৃক্ত বাষ্প-চাপের সঙ্গে তরলের উপরিস্থিত চাপের কি সম্পর্ক?

11. বরফ ও স্টিমের লীনতাপ নির্ণয়ের সহজ ক্যালরিমিটার পদ্ধতি বর্ণনা কর।

12. শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলতে কি বোঝ? আপেক্ষিক আর্দ্রতা গণনায় শিশিরাঙ্কের কি প্রয়োজন?

13. রেনোর হাইগ্রোমিটারের গঠন প্রণালী বর্ণনা কর। এর সাহায্যে কি করে শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করবে?

14. বরফের লীন তাপ = 80 ক্যালরি/গ্রাম এবং স্টিমের লীনতাপ = 540 ক্যালরি/গ্রাম—উক্তি দুটির অর্থ লেখ।

15. বৈজ্ঞানিক কারণ নির্দেশ কর:

(ক) মাটির কুঁজোয় জল বেশ ঠাণ্ডা থাকে।

(খ) হাতে স্পিরিট ঢাললে ঠাণ্ডা লাগে।

(গ) পর্বতের উচ্চস্থানে রান্না করা অসুবিধাজনক।

(ঘ) প্রেসার কুকারে তাড়াতাড়ি রান্না হয়।

(ঙ) শীতকালে কাপড় তাড়াতাড়ি শুকোয়।

(চ) গরম চা প্লেটে ঢাললে তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হয়।

(ছ) গ্রীষ্মে জানালায় ভিজে খসখস লাগানো হয়।

(জ) কাচপাত্রে বরফ জল ঢাললে বাইরে জলবিন্দু জমে।

(ঝ) শীতের সকালে কাচের উপর ফুঁ দিলে কাচ আবছা হয়।

(ঞ) একই উষ্ণতায় থাকলেও, কলকাতার চেয়ে দিল্লী আরামপ্রদ।

16. 100 গ্রাম বরফকে $-10°C$ থেকে $30°C$ উষ্ণ জলে পরিণত করা হল। এতে কত তাপ লাগবে? বরফের আপেক্ষিক তাপ $= 0{\cdot}5$; বরফের লীন তাপ $= 80$ ক্যালরি/গ্রাম [11,500 ক্যালরি]

17. $100°C$ উষ্ণতার তামার সঙ্গে $0°C$ উষ্ণতার 2 পাউণ্ড বরফ মিশানো হল। মিশ্রণের ফলাফল কি হবে? তামার আঃ তাপ $= 0{\cdot}1$ এবং বরফের লীন তাপ $= 80$ ক্যালরি/গ্রাম। [মিশ্রণের উষ্ণতা $= 0°C$; 1 পাউণ্ড বরফ গলবে]

18. গলনাঙ্কে 35 গ্রাম তরল গন্ধক একটি তামার ক্যালরিমিটারে ঢালা হল। ক্যালরিমিটারের ওজন 40 গ্রাম এবং ওতে $14°C$-এ 100 গ্রাম জল ছিল। তরল গন্ধক ঢালায় কতটা উষ্ণতা-বৃদ্ধি ঘটবে? [$8{\cdot}2°C$]

19. একটা কলসে প্রায় 1 লিটার পরিমাণ জল আছে। ঐ জলের উষ্ণতা $77°F$ থেকে কমিয়ে $50°F$ করতে 20-গ্রাম টুকরোর কটি বরফ টুকরো লাগবে? (গৌহাটি, 1957) [8]

20. 60 গ্রাম জলসম-যুক্ত একটি তামার পাত্রে $30°C$ উষ্ণতায় 600 গ্রাম জল আছে। একটি বার্নারের সাহায্যে সেকেণ্ডে 100 ক্যালরি তাপ দিয়ে গরম করা হচ্ছে। সকল প্রকার তাপক্ষয় উপেক্ষা করে (a) ঐ জলকে স্ফুটনাঙ্কে নিতে এবং (b) 50 গ্রাম জলকে ফুটিয়ে বাষ্পীভূত করতে কত সময় লাগবে? স্টিমের লীন তাপ $= 540$ ক্যালরি। (কঃ বিঃ 1952) [462 সে. ; 732 সে.]

21. $20°C$ উষ্ণতায় 10 গ্রাম জলকে দ্রুত বাষ্পায়িত করায় বাকী জল জমে বরফ হয়ে গেল। পারিপার্শ্বিক থেকে কোন তাপ গ্রহণ করা হয় নি ধরে কি পরিমাণ জলের বাষ্পায়ন ঘটেছিল স্থির কর। জলের আঃ তাপ উপেক্ষা কর। বরফের লীন তাপ $= 80$ ক্যালরি/গ্রাম। জলের বাষ্পায়নের জন্য লীন তাপ $= 536$ ক্যা/গ্রা. (উৎকল, 1957) [1·57 গ্রাম]

22. একটি পাত্রে বরফ ও জলের মিশ্রণ আছে। তাতে 100°C উষ্ণতার স্টীম পাঠিয়ে দেখা গেল যে. সমস্ত বরফ-গলার পূর্বে 1·5 গ্রাম স্টীম ঘনীভূত হল এবং মিশ্রণের উষ্ণতা 4°C-এ পৌছল। প্রথম অবস্থায় মিশ্রণে কি পরিমাণ বরফ ছিল? (জলশুদ্ধ পাত্রের জলসম = 50 গ্রাম; স্টীমের ও বরফের লীন তাপ যথাক্রমে 540 ক্যা/গ্রা এবং 80 ক্যা/গ্রা)

(কঃ বিঃ 1959) [প্রায় 9 গ্রাম]

23. কোন এক দিনের উষ্ণতা 1.°C এবং শিশিরাঙ্ক 7·6°C; ঐ দিন বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় কর। 7°C, 8°C এবং 16°C-এ জলীয় বাষ্পের সর্বোচ্চ টান যথাক্রমে 7·5 মিমি, 8 মিমি ও 13·5 মিমি।

(নাগপুর, 1954) [58%]

24. 100°C উষ্ণতার 100 গ্রাম স্টীম থেকে 64 00 ক্যালরি তাপ নিষ্কাশন করলে কি ফল হবে? স্টীমের লীন তাপ = 540 ক্যা/গ্রা; বরফের লীন তাপ = 80 ক্যা/গ্রা.

(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1965)

[100 গ্রাম বরফ হবে; 90 গ্রাম জল 0°C উষ্ণতায় বরফের সঙ্গে থাকবে]

7 তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক

সপ্তম অধ্যায় (Mechanical equivalent of heat)

7.1 তাপ শক্তির একটি রূপ
(Heat as a form of Energy)

তাপ কি পদার্থ? পদার্থমাত্রেরই ভর আছে, ভারও আছে এবং সকল পদার্থই কিছু-না-কিছু স্থান দখল করে থাকে অর্থাৎ আয়তন আছে। কিন্তু তাপের ভর বা ভার নেই, কেননা একখণ্ড বস্তু উত্তপ্ত ও শীতল অবস্থায় ওজন করলে দেখা যায় যে, ওজনের তারতম্য হচ্ছে না। তাপের আয়তন বলেও কিছু নেই। কাজেই তাপ পদার্থ নয়। তবে তাপ কি? তাপ একপ্রকার শক্তি। তাপ যে একপ্রকার শক্তি তা সহজেই বোঝা যায়। কেননা তাপ রূপান্তরিত হয়ে অন্য প্রকার শক্তিতে রূপ নেয়; আবার অন্যপ্রকার শক্তিও তাপে রূপান্তরিত হয়। আমরা তাপের বিনিময়ে কাজ পাই। কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া যাক।

(1) হাতের তালু দুটি সজোরে পরস্পর ঘষলে গরম হয়ে ওঠে। ঘর্ষণের যান্ত্রিক শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হল। (2) পরিবাহী তারে বিদ্যুৎ পাঠালে তার গরম হয়ে ওঠে, তড়িৎশক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। (3) বহু রাসায়নিক বিক্রিয়ায় তাপের উদ্ভব হয়। যেমন কয়লার দহনে আমরা তাপ পাই। রাসায়নিক শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হল। (4) প্লাটিনাম তারকে খুব গরম করলে ভাস্বর হয়ে আলো বিকিরণ করে। তাপশক্তি আলোকশক্তিতে রূপান্তরিত হল। (5) ষ্টীম ইঞ্জিন বা পেট্রল ইঞ্জিনে তাপশক্তির বিনিময়ে কার্য পাওয়া যায়।

7.2 তাপ-গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র
(First law of thermodynamics)

তাপ শক্তির একটি রূপ। কাজেই তাপের কাজ করার সামর্থ্য আছে। বিপরীত পক্ষে, কাজের বিনিময়ে তাপ পাওয়া যায়। কিন্তু কি পরিমাণ তাপে কি পরিমাণ কাজ পাওয়া যায় বা কি পরিমাণ কাজ থেকে কি পরিমাণ তাপের উদ্ভব হয়?

যখনই কাজ তাপে রূপান্তরিত হয় বা তাপ কাজে রূপ নেয় তখন কাজের পরিমাণ ও তাপের পরিমাণ পরস্পর সমানুপাতী হয়। অর্থাৎ

$$\text{কাজ} \propto \text{তাপ}$$

$$\text{বা, কাজ/তাপ} = \text{ধ্রুবক।}$$

এই হল তাপ-গতিবিদ্যার **প্রথম সূত্র।**

ধর, W কাজকে রূপান্তরিত করে H তাপ উৎপন্ন করা হল। তা হলে প্রথম সূত্রানুসারে,

$$W \propto H$$

$$\text{বা} \quad W = JH \quad \cdots\cdots(1)$$

এখানে J একটি ধ্রুবক। এই ধ্রুবকটিকে **জুলের তুল্যাঙ্ক (Joule's equivalent)** বা **তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক (Mechanical equivalent of heat)** বলে।

প্রথম সূত্রের তাৎপর্য হল : এই সূত্র তাপ ও কাজের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপিত করে। এই সূত্রানুসারে, নির্দিষ্ট পরিমাণ কাজ পেতে সর্বদাই নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপের প্রয়োজন। বিপরীতপক্ষে, নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ পেতে সর্বদাই নির্দিষ্ট পরিমাণ কাজ ব্যয় করা দরকার। কোন কিছু ব্যয় না করে কাজ বা শক্তি পাওয়া সম্ভব নয়। প্রথম সূত্র বস্তুত শক্তির নিত্যতা সূত্রেরই একটি বিশেষ রূপ—**তাপশক্তির ক্ষেত্রে শক্তির নিত্যতা সূত্র।**

7.3 যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক : সংজ্ঞা ও একক
(Mechanical equivalent : definition and unit)

(1) নং সমীকরণে $H = 1$ বসিয়ে $W = J$ পাওয়া যায়। এ থেকে যান্ত্রিক তুল্যাঙ্কের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেওয়া চলে।

সংজ্ঞা : এক একক তাপ উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ কাজ ব্যয়িত হয় তা-ই যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক।

W ও H এর এককের উপর নির্ভর করে J-র বিভিন্ন একক আছে। বিভিন্ন একক ও বিভিন্ন এককে J-র মান সম্পর্কে নিচে বলা হল।

সি. জি. এস. একক : $J = W/H$: W-কে আর্গে এবং H-কে ক্যালরিতে প্রকাশ করলে J-র একক **আর্গ/ক্যালরি।** সি. জি. এস. এককে J-র মান হল $\mathbf{J = 4.2 \times 10^7}$ **আর্গ/ক্যালরি**

$$= \mathbf{4.2} \text{ জুল/ক্যালরি}$$

(∵ 10^7 আর্গ = 1 জুল)। এ কথার অর্থ : 1 ক্যালরি তাপকে সম্পূর্ণ কাজে রূপান্তরিত করলে 4.2×10^7 আর্গ বা 4.2 জুল কাজ পাওয়া যায়। বিপরীতপক্ষে, এক ক্যালরি তাপ উৎপন্ন করতে 4.2×10^7 আর্গ বা 4.2 জুল যান্ত্রিক শক্তি ব্যয়িত হয়।

এফ. পি. এস. একক : W-কে ফুট-পাউণ্ডে এবং H-কে ব্রিটিশ থার্মাল এককে (B.Th.U) প্রকাশ করলে J-র মান 778 **ফুট-পাউণ্ড/ B Th. U**; এ কথার অর্থ : এক ব্রিটিশ থার্মাল একক তাপ উৎপন্ন করতে 778 ফুট পাউণ্ড পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তি ব্যয়িত হয়।

যদি ফুট-পাউণ্ড এককে যান্ত্রিক শক্তি প্রকাশ করা হয় এবং তাপ পাউণ্ড-সেন্টিগ্রেডে নির্ধারিত হয় তা হলে J র মান 1400 **ফুট-পাউণ্ড**। অর্থাৎ 1400 ফুট-পাউণ্ড যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করলে 1 পাউণ্ড-ডিগ্রি-সেন্টিগ্রেড তাপ উৎপন্ন হবে।

7.4 আর্গ ও ক্যালরির সম্পর্ক
(Relation between erg and calorie)

সি. জি. এস. এককে J-র মান থেকে আর্গ ও ক্যালরির সম্পর্ক পাওয়া যায়।

$$1 \text{ ক্যালরি} = 4.2 \times 10^7 \text{ আর্গ}$$

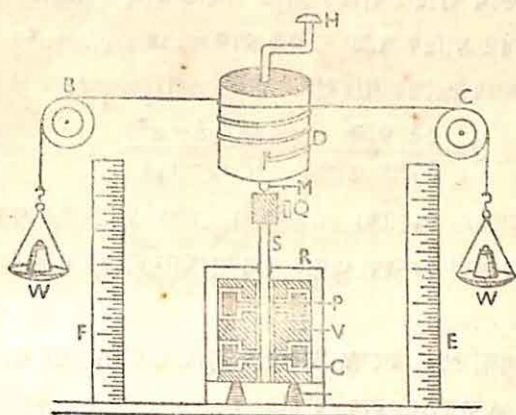
$$\text{বা } 1 \text{ আর্গ} = 1/4.2 \times 10^7 = 0.21 \times 10^7 \text{ ক্যালরি}$$

বস্তুত যান্ত্রিক শক্তি ও তাপ উভয়েই শক্তির বিভিন্ন রূপ। যান্ত্রিক শক্তি সাধারণত আর্গে এবং তাপশক্তি ক্যালরির এককে প্রকাশ করা হয়। তাপ-গতিবিদ্যার প্রথম সূত্রে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক J-র মাধ্যমে এই দুই এককের সম্পর্ক জানা গেছে।

7.5 J-র মান নির্ণয় : প্যাডেল পদ্ধতি
(Determination of J : Paddle method)

এই পদ্ধতিতে জুল সর্বপ্রথম J-র মান নির্ণয় করেন। তার পরীক্ষা ব্যবস্থাটি নিচের চিত্রে দেখান হল।

ব্যবস্থা ও পদ্ধতি : C একটি বেলনাকৃতি ক্যালরিমিটার। এর জলসম জানা আছে। এর মধ্যে কিছু পরিমাণ জল রাখা হয়। ক্যালরি-মিটারের ভিতরের দেয়ালগাত্রে পরস্পরের সঙ্গে সমকোণে চারটি ধাতব ফলক (vanes) V উল্লম্বভাবে অক্ষের দিকে প্রসারিত করে লাগানো থাকে।

S একটি উল্লম্ব মন্থনদণ্ড ; এটি অক্ষ বরাবর একটি আলের (pin) উপর বসানো থাকে এবং এর গায়েও সচ্ছিদ্র চারটি পাখা ব্যাসার্ধ বরাবর প্রসারিত করে আটকানো। S দণ্ডটি যখন ঘোরে তখন এর পাখাগুলো স্থির V-ফলকের অন্তবর্তী স্থান দিয়ে বিনা বাধায় আবর্তন করে। মন্থনদণ্ডের উপরের প্রান্ত

চিত্র 47

কীলক M দ্বারা একটি দড়ি-পেঁচানো বেলন (roller) D-র সঙ্গে প্রয়োজন মতো যুক্ত করা হয়। দড়ির প্রান্তদ্বয় দুটি কপিকল B, C দিয়ে গেছে এবং প্রান্তদেশে একই রকমের দুটি ভার W বহন করে। ভার দুটির উচ্চতা ওদের পার্শ্বস্থ দুটি স্কেল F ও E থেকে সরাসরি জানা যায়। বেলনের সঙ্গে হাতল H লাগানো থাকে ; একে দক্ষিণাবর্তে ঘোরালে বেলনের গায়ের পেঁচানো দড়ি পাক খায় এবং ভার দুটি উপরে উঠতে থাকে। যখন কীলক এঁটে হাতল ছেড়ে দেওয়া হয় তখন ভার দুটি নিচের দিকে নামে ; সঙ্গে সঙ্গে পাখাসহ মন্থনদণ্ড ক্যালরিমিটারে ঘুরতে থাকে এবং ক্যালরিমিটারের জল মন্থিত হয়। এই মন্থিত জলের গতিতে V-ফলকগুলো বাধা দেয়- ফলে জলের গতিশক্তি তাপে রূপান্তরিত হয়ে জলের উষ্ণতা কিছুটা বাড়িয়ে দেয়।

ভার দুটি একবার মাটিতে পৌঁছলে প্রক্রিয়াটির পুনরাবৃত্তির জন্য Q পিন খুলে হাতল H-র সাহায্যে ভার দুটিকে যথাস্থানে গুটিয়ে নেওয়া হয়।

গণনা : ধর, ভার দুটির প্রত্যেকের ভর m গ্রাম ও পতনের উচ্চতা h সেমি. ভারদ্বয়ের পতনের সংখ্যা $=n$ অভিকর্ষজ ত্বরণ $=g$ সেমি/সে.^{2} ; মাটি স্পর্শের মুহূর্তে ভরদ্বয়ের বেগ $=v$ সেমি/সে ; ক্যালরিমিটারের (জলসহ)

জলসম $= W$ গ্রাম এবং জলের প্রাথমিক ও চূড়ান্ত উষ্ণতা যথাক্রমে t_1°C ও t_2°C.

∴ পতনের মুহূর্তে ভারদ্বয়ের মোট স্থিতি শক্তি $= 2 \times mgh$

মাটি স্পর্শের মুহূর্তে ওদের মোট গতি শক্তি $= 2 \times \frac{1}{2}mv^2$

∴ প্রতি পতনে ব্যয়িত যান্ত্রিক শক্তি বা কৃত কাজ $= 2mgh - mv^2$

∴ মোট ব্যয়িত যান্ত্রিক শক্তি বা কৃত কাজ $= mn\,(2gh - v^2)$

মোট উৎপন্ন তাপের পরিমাণ $= W(t_2 - t_1)$

$$\therefore\ J = \frac{\text{কৃত কাজ}}{\text{উৎপন্ন তাপ}} = \frac{mn\,(2gh - v^2)}{W(t_2 - t_1)}$$

একটি স্টপওয়াচের সাহায্যে h উচ্চতা থেকে ভারদ্বয়ের পতনের সময় নির্ণয় করে v বের করা হয় এবং একটি সূক্ষ্ম থার্মোমিটারের সাহায্যে t_1 ও t_2 নির্ণয় করা হয়।

ত্রুটি ঃ এ পদ্ধতিতে জলের উষ্ণতার বৃদ্ধি বিশেষ হয় না। সেজন্য $(t_2 - t_1)$ নির্ণয়ে ভুলের পরিমাণ বেশি হয়। স্থিতিশক্তির কিছু অংশ যন্ত্রের বিভিন্ন অংশের ঘর্ষণে এবং উৎপন্ন তাপের বিকিরণে ব্যয় হয়। এগুলো গণনায় ধরা হয় নি। তা ছাড়া, পারদ থার্মোমিটারের পাঠ কোন প্রমাণ থার্মোমিটারের সঙ্গে না মেলানোয় এবং বিভিন্ন উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক তাপের পরিবর্তন উপেক্ষা করায় গণনায় কিছু ত্রুটি থেকে যায়।

বর্তমানে J-র স্বীকৃত মান $= 4.18 \times 10^7$ আর্গ/ক্যালরি

7.6 গ্যাসের সমোষ্ণ প্রসারণ (Isothermal expansion of gases)

যে প্রক্রিয়ায় কোন বস্তুর চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন হয়, কিন্তু উষ্ণতা স্থির থাকে তাকে **সমোষ্ণ প্রক্রিয়া** বলে।

কোন গ্যাসকে একটি পাত্রে নিয়ে পিস্টনের সাহায্যে চাপ দিয়ে যদি হঠাৎ সংনমিত করা যায় তবে গ্যাসের উপর কাজ করা হয় এবং এর ফলে তাপের উদ্ভব ঘটে, গ্যাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। কিন্তু, পিস্টনটিকে যদি ধীরে ধীরে চেপে সংনমন ঘটানো হয় এবং উৎপন্ন তাপকে সরানোর ব্যবস্থা করা যায় তবে গ্যাসের উষ্ণতা স্থির থাকে, কিন্তু আয়তনের পরিবর্তন হয়। শেষোক্ত পরিবর্তনটি একটি **সমোষ্ণ পরিবর্তন—সমোষ্ণ সংনমন** (isothermal compression)।

বিপরীত পক্ষে, পূর্বের উদাহরণে যদি পিস্টনকে হঠাৎ বাইরের দিকে

টেনে নিয়ে গ্যাসকে সহসা প্রসারিত হতে দেওয়া হয় তবে গ্যাস নিজেই কাজ করবে এবং এর ফলে তাপের হ্রাস ঘটবে, গ্যাসের উষ্ণতা কমবে। কিন্তু পিস্টনকে যদি ধীরে ধীরে বাহিরের দিকে নিয়ে গ্যাসকে প্রসারিত করা হয় এবং যে হারে গ্যাস ঠাণ্ডা হয় সেই হারে বাইরে থেকে তাপের জোগান দেওয়া হয় তবে গ্যাসের উষ্ণতা স্থির থাকবে, কিন্তু আয়তনের পরিবর্তন ঘটবে। এটিও একটি **সমোষ্ণ পরিবর্তন—সমোষ্ণ প্রসারণ (isothermal expansion)।**

উপরের আলোচনা থেকে স্পষ্টত সমোষ্ণ প্রক্রিয়ার জন্য প্রয়োজন :

(i) **তাপের আদান-প্রদান ঘটানোর জন্য সুপরিবাহী আধার**

(ii) **সংনমন বা প্রসারণ প্রক্রিয়ার মন্থরতা।**

বস্তুত, মন্থর পরিবর্তনের যে কোন প্রক্রিয়াকে সাধারণত সমোষ্ণ ধরা হয়।

আমরা আগেই জেনেছি, আদর্শ গ্যাসের সমোষ্ণ পরিবর্তনের (সংনমন বা প্রসারণ) ক্ষেত্রে চাপ ও আয়তন বয়েলের সূত্র-দ্বারা নির্ধারিত হয়। অর্থাৎ, সমোষ্ণ-পরিবর্তনে চাপ P ও আয়তন V-র গুণফল একটি ধ্রুবক হয়।

$$\therefore \quad PV = \text{ধ্রুবক}$$

উপরের সমীকরণের লেখচিত্র একটি **আয়তাকার পরাবৃত্ত (rectangular hyperpola)।** এজন্য এই লেখচিত্রকে **সমোষ্ণ লেখচিত্র (Isothermal curve)**-বলে। চিত্র 28 দেখ।

7.7 গ্যাসের রুদ্ধতাপ প্রসারণ (Adiabatic expansion of gases)

যে প্রক্রিয়ায় কোন বস্তুর চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন হয়, কিন্তু বস্তুতে বাইরে থেকে তাপ প্রবেশ করে না কিংবা বস্তু থেকেও বাইরে তাপ বেরিয়ে যায় না, তাকে **রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া** বলে। অন্যভাবে বলা যায়, যে প্রক্রিয়ায় পারিপার্শ্বিকের সঙ্গে তাপের আদান-প্রদান হতে না দিয়ে চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন করা হয় তা-ই **রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া।**

কোন গ্যাসকে একটি পাত্রে নিয়ে পিস্টনের সাহায্যে চাপ দিয়ে যদি হঠাৎ সংনমিত করা হয়, তবে গ্যাসের উপর কাজ করা হয়। এর ফলে তাপের উদ্ভব ঘটে ; কিন্তু পারিপার্শ্বিকের সঙ্গে তাপের আদান-প্রদান বন্ধ থাকলে উদ্ভূত তাপে গ্যাসের উষ্ণতা বাড়বে। বিপরীত পক্ষে, যদি পিস্টনকে হঠাৎ বাইরের দিকে টেনে নিয়ে গ্যাসকে সহসা প্রসারিত হতে দেওয়া হয় তবে গ্যাস নিজেই কাজ করবে। পারিপার্শ্বিকের সঙ্গে তাপীয় আদান-প্রদান বন্ধ থাকলে ঐ

কাজের জন্য যে শক্তির দরকার গ্যাস নিজেই তার জোগান দেবে এবং গ্যাসের উষ্ণতা কমবে। উভয় প্রক্রিয়াই রুদ্ধতাপ—রুদ্ধতাপ সংনমন (adiabatic compression) এবং রুদ্ধতাপ প্রসারণ (adiabatic expansion)। কাজেই, রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় উষ্ণতা স্থির থাকে না।

উপরের আলোচনা থেকে স্পষ্টত রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ার জন্য প্রয়োজন :

(i) তাপের আদান-প্রদান বন্ধের জন্য কুপরিবাহী আধার

(ii) সংনমন ও প্রসারণ প্রক্রিয়ার দ্রুততা।

বস্তুত, দ্রুত পরিবর্তনের যে কোন প্রক্রিয়াকে সাধারণত রুদ্ধতাপ ধরা হয়।

আদর্শ গ্যাসে রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে চাপ P, আয়তন V এবং পরম উষ্ণতা T নিম্নোক্ত সমীকরণগুলো দ্বারা সম্পর্কযুক্ত। সমীকরণগুলোর লেখকে রুদ্ধতাপ লেখ (adiabatic curve) বলে।

(i) $PV^{\gamma}=$ ধ্রুবক ; (ii) $TV^{\gamma-1}=$ ধ্রুবক ; (iii) $T^{\gamma}P^{1-\gamma}=$ ধ্রুবক

এখানে $\gamma = \dfrac{\text{স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ}}{\text{স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ}} = \dfrac{C_p}{C_v}$

সমোষ্ণ প্রসারণে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস যে কাজ করে এবং সম-পরিমাণ রুদ্ধতাপ প্রসারণে ঐ গ্যাস যে কাজ করে তা এক নয়।

7.8 গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ (Specific heat of gases)

ইতিপূর্বে 'ক্যালরিমিতি' অধ্যায়ে আপেক্ষিক তাপের বিষয় সম্পর্কে বলা হয়েছে। একক ভরযুক্ত কোন বস্তুর উষ্ণতা 1° বৃদ্ধির জন্য যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন তা-ই আপেক্ষিক তাপ। অর্থাৎ

$$\text{আপেক্ষিক তাপ} = \frac{\text{কোন বস্তুর একক ভরে সরবরাহীকৃত তাপ}}{\text{ঐ বস্তুর তজ্জনিত উষ্ণতা বৃদ্ধি}}$$

গ্যাসের ক্ষেত্রে আপেক্ষিক তাপের এই সংজ্ঞা প্রয়োগে কিছু অসুবিধা দেখা দেয়। ধরা যাক, একক ভরের কোন গ্যাস নিয়ে হঠাৎ চাপ দিয়ে তাকে সংকুচিত করা হল। এতে গ্যাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাবে, যদিও বাইরে থেকে কোন তাপ সরবরাহ করা হল না। অতএব, এক্ষেত্রে

$$\text{আপেক্ষিক তাপ} = \frac{0}{\text{উষ্ণতা বৃদ্ধি}} = 0 \text{ (শূন্য)}$$

এবার ধরা যাক, ঐ একক ভরের গ্যাসকে হঠাৎ প্রসারিত হতে দেওয়া

হল। এর ফলে গ্যাসের উষ্ণতা হ্রাস পাবে। ধর, বাইরে থেকে প্রয়োজনীয় তাপ সরবরাহ করে উষ্ণতা অপরিবর্তিত রাখা হল। অতএব, এক্ষেত্রে

$$\text{আপেক্ষিক তাপ} = \frac{\text{সরবরাহীকৃত তাপ}}{0} = \infty \text{ (অসীম)}$$

কাজেই 'ক্যালরিমিতি' অধ্যায়ে ব্যবহৃত সংজ্ঞায় গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ 0 থেকে ∞ পর্যন্ত হতে পারে। এই অবাস্তব ব্যাপারের কারণ এই যে, নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসকে যখন গরম করা হয় তখন উষ্ণতার সঙ্গে সঙ্গে ঐ গ্যাসের আয়তন ও চাপ-ও বৃদ্ধি পায়। কিন্তু কঠিন বা তরলের ক্ষেত্রে সংশ্লিষ্ট আয়তন ও চাপবৃদ্ধি উপেক্ষণীয়। গ্যাসের ক্ষেত্রে তাই আপেক্ষিক তাপের বিবেচনায় আয়তন ও চাপের কথাও বিবেচনা করতে হবে। এই কারণে গ্যাসের দুটি আপেক্ষিক তাপের উল্লেখ করা হয়ঃ এক, নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন স্থির রেখে তাপের সরবরাহে উষ্ণতার বৃদ্ধি দেখে আপেক্ষিক তাপ ঠিক করা – **স্থির আয়তনের আপেক্ষিক তাপ C_v**; দুই, চাপ স্থির রেখে তাপের সরবরাহে উষ্ণতা বৃদ্ধি দেখে আপেক্ষিক তাপ ঠিক করা—**স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ C** ।

7.9 স্থির চাপ ও স্থির আয়তন আপেক্ষিক তাপ
(Specific heats at constant pressure and volume)

স্থিরচাপ আপেক্ষিক তাপঃ 1 গ্রাম গ্যাসের চাপ অপরিবর্তিত রেখে উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন তাকে ঐ গ্যাসের **স্থিরচাপ আপেক্ষিক তাপ (C_p)** বলে।

স্থির আয়তন আপেক্ষিক তাপঃ 1 গ্রাম গ্যাসের আয়তন অপরিবর্তিত রেখে উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন তাকে ঐ গ্যাসের **স্থির আয়তন আপেক্ষিক তাপ (C_v)** বলে।

মোলার আপেক্ষিক তাপ (Molar specific heat): কোন গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব M হলে, স্পষ্টত M গ্রাম গ্যাসের স্থিরচাপে 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করতে MC_p এবং স্থির আয়তনে 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করতে MC_v পরিমাণ তাপ প্রয়োজন হয়। এদের যথাক্রমে স্থিরচাপে ও স্থির আয়তনে ঐ গ্যাসের **গ্রাম-আণবিক** (gm. molecular) বা **মোলার** (Molar) **আপেক্ষিক তাপ C_P এবং C_V** বলা হয়।

মোলার আপেক্ষিক তাপকে কখন কখন আণবিক তাপ (Molecular-heat)-ও বলে।

7.10 C_v থেকে C_p বড় এবং $C_p - C_v = R$
(C_p is greater than C_v : $C_p - C_v = R$)

আয়তন স্থির রেখে গ্যাসে তাপ প্রদান করলে, সমস্ত তাপ-ই গ্যাসের অণুগুলির গতীয় শক্তির বৃদ্ধিতে ব্যয় হয়, কেননা আয়তন স্থির থাকায় ঐ গ্যাস বাইরের চাপের বিরুদ্ধে কোন কাজ (external work) করে না।

কিন্তু, চাপ স্থির রেখে গ্যাসে তাপ প্রদান করলে, ঐ তাপের একটি অংশ অণুগুলির গতীয় শক্তির বৃদ্ধিতে ব্যয় হয়। আর একটি অংশ বাইরের স্থির চাপের বিরুদ্ধে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি ক'রে কাজ করায় ব্যয়িত হয়।

ধর, p_1=বহিঃস্থ স্থির চাপ, v_2=গ্যাসের অন্তিম আয়তন এবং v_1=গ্যাসের প্রাথমিক আয়তন

∴ গ্যাস কর্তৃক সম্পাদিত কাজ=বল × সরণ

=চাপ × প্রস্থচ্ছেদ × সরণ=চাপ × আয়তন

$=p(v_2-v_1)$ আর্গ $=p(v_2-v_1)/J$ ক্যালরি

∴ স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ C_p

$=1°C$ উষ্ণতা বৃদ্ধিতে ব্যয়িত তাপ + সম্পাদিত কাজের তুল্য তাপ

=স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপ + সম্পাদিত কাজের তুল্য তাপ

$=C_v+p(v_2-v_1)/J$

কাজেই C_v থেকে C_p বড়। এবং $C_p-C_v=p(v_2-v_1)/J$;

এই সমীকরণের উভয়পক্ষকে গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব M দিয়ে গুণ করে

$$M(C_p-C_v)=Mp(v_2-v_1)/J$$

বা, $C_P-C_V=(pMv_2-pMv_1)/J$

$$=\{R_o(t+273)-R_o(t+1+273)\}/J$$

$$=R_o/J$$

$$\therefore\ C_P-C_V=R_o/J$$

প্রায়ই J উল্লেখ করা হয় না। একথা উহ্য থাকে যে, সমীকরণের উভয় পক্ষের একক যেন একই থাকে। এই হিসাবে

$$\therefore\ C_P-C_V=R_o$$

7.10 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. 4 কিলোগ্রাম ভরের একটি বস্তু 1 কিলোমিটার উঁচু থেকে মাটিতে এসে পড়ল। যদি সমস্ত শক্তিই তাপে রূপান্তরিত হয়, তবে উৎপন্ন তাপশক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর।

এখানে কৃত কাজ $W=mgh=4\times10^3\times980\times10^5$ আর্গ

$$=4\times98\times10^9 \text{ আর্গ}$$

$$\therefore \text{ উৎপন্ন তাপ } H=\frac{W}{J}=\frac{4\times98\times10^9}{4.2\times10^7}=9.3\times10^3 \text{ ক্যালরি}$$

উদা. 2 একটি গ্যাস এঞ্জিনের কার্যকরী ক্ষমতা 20% এবং এঞ্জিনে প্রতি ঘণ্টায় 1500 ঘনফুট করে গ্যাস পোড়ে। যদি জালানির তাপন মূল্য 800. বৃ. থা. এ/ঘনফুট হয় তবে এঞ্জিনের অশ্বক্ষমতা কত?

প্রতি ঘণ্টায় উৎপন্ন তাপ $=1500\times800$ বৃ. থা. এ.

$\therefore$ „ সম্পাদিত কাজ $=1500\times800\times778$ ফুট পাউণ্ড

$$\therefore \text{ প্রতি সেকেণ্ডে } ,, = \frac{1500\times800\times778}{60\times60} \text{ ফুট পাউণ্ড}$$

$$\therefore \quad \text{অশ্ব ক্ষমতা}=\frac{1500\times800\times778}{60\times60\times550}=470 \text{ (প্রায়)}$$

কিন্তু কার্যকরী ক্ষমতা $=20\%$ $\therefore$ অশ্বক্ষমতা $=470\times20/100=94.$

উদা. 3 নায়াগ্রা জলপ্রপাতের উচ্চতা 50 মিটার। প্রপাতের শীর্ষ ও তলদেশের জলের উষ্ণতার পার্থক্য নির্ণয় কর। $J=4.2\times10^7$ আর্গ/ক্যালরি।

(পাটনা, বি. এস. সি 1953)

ধর, উষ্ণতার পার্থক্য θ;

প্রপাতের উচ্চতা $=50$ মি $=50\times100=50{,}00$ সেমি.

ধর, পতনশীল জলের ভর m; কাজেই

স্থিতিশক্তি $=mgh=m\times981\times5000$ আর্গ

স্থিতিশক্তির সমস্তটাই তলদেশে তাপশক্তিতে পরিণত হয়েছে ধরে:

উৎপন্ন তাপশক্তি $H=m\theta$ ক্যালরি; কিন্তু $W=JH$

$\therefore \quad m\times981\times5000=4.2\times10^7\times m\times\theta$

$$\therefore \theta=\frac{981\times5000}{4.2\times10^7}=0.1165°\text{C}$$

উদা. 4 একটি সীসার গুলি 47·6°C উষ্ণতায় সবেগে একটি দেওয়ালে আঘাত করে থেমে গেল এবং দেখা গেল যে, গুলিটিকে গলানোর পক্ষে ঠিক যথেষ্ট তাপশক্তি উৎপন্ন হয়েছে। কত বেগে গুলিটি দেওয়ালকে আঘাত করেছিল? সীসার গলনাঙ্ক=327°C, আপেক্ষিক তাপ=0·03; গলনের লীন তাপ=6 ক্যা/গ্রা; $J=4{\cdot}2\times10^7$ আর্গ/ক্যালরি।

(উজ্জয়িনী বি.এস.সি 1950)

ধর, m=বুলেটের ভর, v=বেগ। কাজেই গতিশক্তি$=\frac{1}{2}mv^2$

বুলেটকে 47·6°C থেকে 327°C (গলনাঙ্কে) উষ্ণ করতে প্রয়োজনীয় তাপ$=m\times(327-47{\cdot}6)\times0{\cdot}03$

গলনাঙ্কে বুলেট গলাতে প্রয়োজনীয় লীন তাপ$=m\times6$ ক্যা.

কিন্তু $W=JH$

$$\therefore\quad \frac{1}{2}mv^2=m(279{\cdot}4-0{\cdot}03+6)\ 4{\cdot}2\times10^7$$

সমাধানান্তে $v=3{\cdot}475\times10^4$ সেমি/সে.

অনুশীলনী

1. তাপ এক প্রকার শক্তি—এই উক্তির তাৎপর্য কি? তাপ ও কাজের মধ্যে কি সম্পর্ক?

2. তাপ-গতিবিদ্যার প্রথম সূত্রটি কি? এই সূত্রের তাৎপর্য কি?

3. 'তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক' বলতে কি বোঝ? সি. জি এস পদ্ধতিতে এর স্বীকৃত মান কত?

4. 'তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক 4.2 জুল/ক্যালরি'—এ কথার অর্থ কি?

5. তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয়ের একটি পরীক্ষা ব্যবস্থার সচিত্র বিশদ বিবরণ দাও?

6. গ্যাসের আপক্ষিক তাপ বলতে কি বোঝ? গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ দুটি কেন? ওদের সংজ্ঞা লেখ এবং ওদের মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

7. প্রমাণ কর যে, স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ স্থির আয়তন আপেক্ষিক তাপের চেয়ে বড় এবং দুয়ের অন্তর (মোলার) গ্যাস ধ্রুবকের সমান।

8. মোলার আপেক্ষিক তাপ বলতে কি বোঝ? উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা কর।

9. সমোষ্ণ ও রুদ্ধতাপ পরিবর্তন কি ব্যাখ্যা কর। কি শর্ত পূরণ হলে প্রক্রিয়াকে সমোষ্ণ বা রুদ্ধতাপ ধরা হবে?

10. আদর্শ গ্যাসে সমোষ্ণ এবং রুদ্ধতাপ পরিবর্তনের ক্ষেত্রে চাপ, উষ্ণতা ও আয়তনের সম্পর্ক কি?

11. 100 মিটার উঁচু কোন জলপ্রপাত সেকেণ্ডে 50 লিটার জল ক্ষেপণ করে এবং ঐ জল প্রপাতের নিচে একটি জলাশয় গিয়ে পড়ে। উদ্ভূত তাপ জলে সম্পূর্ণরূপে আবদ্ধ থাকলে (i) সেকেণ্ডে কি পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হয় (ii) জলাশয়ের উষ্ণতা কত বৃদ্ধি পায়? (কঃ বিঃ 1952)

[11680 ক্যালরি ; 0.233°C]

12. 300 মিটার উঁচু কোন প্রপাতের শীর্ষ ও তলদেশের উষ্ণতার পার্থক্য নিম্নলিখিত তথ্য থেকে নির্ণয় কর : $J=4.2\times10^7$ আর্গ/ক্যালরি, $g=980$ সেমি/সেকেণ্ড^2, জলের আপেক্ষিক তাপ=1 ক্যালরি/গ্রাম×°C ; পতনশীল জলের সমস্ত শক্তি তাপে পরিণত হয়ে জলেই আবদ্ধ থাকে।

(কঃ বিঃ 1965) [0.233°C]

13. কোন ছুটন্ত সীসার বুলেটকে হঠাৎ থামিয়ে সমস্ত শক্তি তাপে পরিণত করা হল এবং এর ফলে বুলেটের উষ্ণতা 100°C বৃদ্ধি পেল। বুলেটের বেগ নির্ণয় কর। সীসার আপেক্ষিক তাপ=0.03

(কঃ বিঃ 1967) [15.87 মি/সে.]

14. বায়ু সম্পর্কে নিম্নোক্ত তথ্য থেকে জুলের তুল্যাঙ্ক J-র মান নির্ণয় কর : $C_p=0.2375$ ক্যালরি/গ্রাম×°C ; $C_v=0.1688$ ক্যা /গ্রাম ×°C ; N. T. P-তে বায়ুর ঘনাঙ্ক=0.001293 গ্রাম/সিসি ; আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক=1/273/°C ; স্বাভাবিক বায়ুচাপ=1.013×10^6 ডাইন/সেমি^{2},

[4.177×10^7 আর্গ/ক্যালরি]

15. স্থির আয়তনে হাইড্রোজেনের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর। দেওয়া আছে : স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ=6.85 ক্যালরি/গ্রাম মোল ; N. T. P-তে হাইড্রোজেনের ঘনাঙ্ক=0.0899 গ্রাম/লিটার, $J=4.18\times10^7$ আর্গ/ক্যালরি এবং হাইড্রোজেনের গ্রাম আণবিক গুরুত্ব=2.016.

(কঃ বিঃ 1966) [4.87 ক্যালরি/গ্রাম মোল]

16. 0°C উষ্ণতা এবং 76 সেমি চাপে এক লিটার হাইড্রোজেনের ওজন 0.0896 গ্রাম। স্থির চাপ ও স্থির আয়তনে প্রতি গ্রাম হাইড্রোজেনের আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে 3.409 এবং 2.411 হলে J-র মান নির্ণয় কর।

(পাটনা 1947) [4.15×10^7 আর্গ/ক্যালরি]

17. 25 পাউণ্ড ভরের একটি লোহার ব্লকে (আপেক্ষিক তাপ = 0.12) ছেঁদা করতে গিয়ে যে তাপ উৎপন্ন হল তা ব্লকের উষ্ণতা 15°F বৃদ্ধি করার পক্ষে যথেষ্ট। এ কাজে 2 মি. 20 সেকেণ্ড ব্যাপী 0.45 অশ্বক্ষমতা প্রয়োগ করলে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক ফুট-পাউণ্ড/বৃ. থা. এককে প্রকাশ কর।

(ইঞ্জিঃ অ্যাডঃ টেস্ট 1966) [770]

18. একটি জলপ্রপাত 100 মি. উঁচু থেকে নিচে নেমে আসে। যদি এক্ষেত্রে উৎপন্ন তাপের শতকরা 90 ভাগ জলে থেকে যায় তবে প্রপাতের উপর ও নিচের উষ্ণতার পার্থক্য কত? (পঃ বঃ উঃ মাঃ 1963) [0·21°C]

19. 0°C উষ্ণতার 50 গ্রাম বরফকে 100°C উষ্ণতার জলে পরিণত করতে কি পরিমাণ কাজ প্রয়োজন হবে? বরফের লীন তাপ =50 ক্যা/গ্রা.

(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1960) [37.8×10^{10} আর্গ]

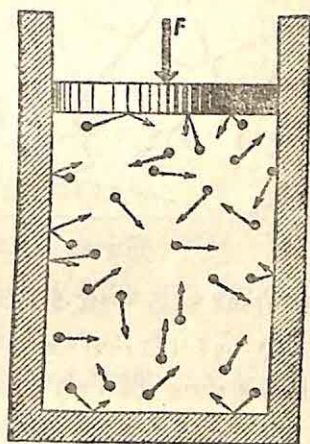
8

অষ্টম অধ্যায়

গ্যাসের গতিতত্ত্ব
(Kinetic theory of gases)

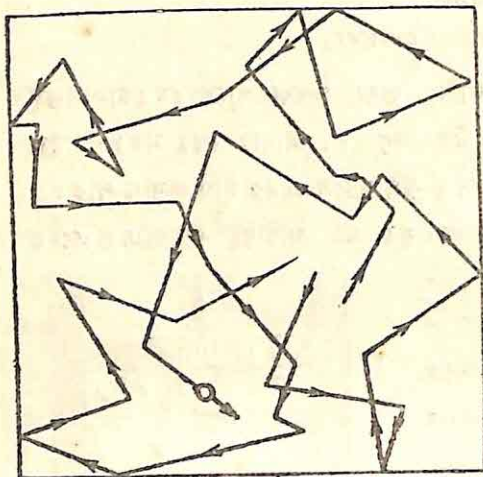
8.1 পদার্থের আণবিক গঠন (Molecular structure of matter)

পদার্থের গতিতত্ত্ব অনুযায়ী কঠিন, তরল অথবা গ্যাস যে কোন বস্তুই অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অণুর সমষ্টি। এই অণুগুলো আবার স্থির নয়। সর্বদা ইতস্তত সঞ্চরণ করে বেড়ায়। উষ্ণতার বৃদ্ধি ঘটলে এদের গতিও বৃদ্ধি পায়।

কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে অণুগুলো খুব ঘন সন্নিবিষ্ট থাকে এবং এদের পারস্পরিক সংসক্তি বল এতো বেশি যে, কঠিন পদার্থের সুনির্দিষ্ট আকার ও আয়তন থাকে। কিন্তু তরলের ক্ষেত্রে সংসক্তি অপেক্ষাকৃত অনেক কম হওয়ায় অণুগুলো ঘন সন্নিবিষ্ট হয় না। ফলে তরলের আয়তন নির্দিষ্ট হলেও আকার নির্দিষ্ট নয়। যখন যে পাত্রে রাখা হয় তখন সেই পাত্রের আকার ধারণ করে। গ্যাসের ক্ষেত্রে অণুগুলির সংসক্তি বল একদম থাকে না, অণুগুলি পরস্পর থেকে দূরে দূরে অবস্থান করে। ফলে এদের না আছে কোন নির্দিষ্ট আকার, না আছে নির্দিষ্ট আয়তন। যত অল্প পরিমাণ গ্যাস যত বড় পাত্রেই রাখা হোক না কেন সমস্ত পাত্রকে ভরে ফেলে। গ্যাসের অণুগুলি আবদ্ধ স্থানে মোটামুটি স্বাধীনভাবে বিচরণে সক্ষম।

চিত্র 48

8.2 গতিতত্ত্বের সমর্থনে প্রমাণ : ব্রাউনীয় গতি (Evidence supporting kinetic theory : Brownian motion)

তাপীয় উত্তেজনার ফলে পদার্থের অণুগুলোতে দ্রুত, নিরন্তর, অবিন্যস্ত গতির সঞ্চার হয়—এই মূল ধারণা সমগ্র গতিতত্ত্বের ভিত্তি। গতিতত্ত্বে কঠিন ও তরলের, বিশেষত গ্যাসের, নানা আচরণের সন্তোষজনক ব্যাখ্যা পাওয়া গেলেও এই তত্ত্বের মূল ধারণার প্রত্যক্ষ প্রমাণ পাওয়া গেল ব্রাউনের আবিষ্কারে।

1827 খ্রীষ্টাব্দে ইংরেজ উদ্ভিদবিদ্ রবার্ট ব্রাউন সবিস্ময়ে লক্ষ্য করেন যে, কোন তরল পদার্থে পরাগরেণু (pollen grains) বিলম্বিত করে শক্তিশালী অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দেখলে দেখা যায় যে, পরাগরেণুগুলো অনবরত দ্রুতবেগে ইতস্তত নেচে বেড়াচ্ছে—কখনও উঠছে, কখনও পড়ছে, কখনও বা ঘুরপাক খাচ্ছে। এই উদ্দাম নৃত্যের হ্রাস পাওয়া বা বন্ধ হওয়ার কোন লক্ষণই দেখা যায় না।

এই চিরন্তনী গতিকে আবিষ্কারকের নামানুসারে **ব্রাউনীয় গতি** বলা হয়। শুধু পরাগরেণুই নয়, যে কোন ক্ষুদ্র কণিকাই এই গতি দেখায়।

চিত্র 49

কিন্তু এই উদ্দাম গতির কারণ কি? কারণ নির্দেশ করার উদ্দেশ্যে বিভিন্ন বিজ্ঞানী এই **গতি সম্পর্কে বিশদ তথ্যাদি** সংগ্রহ করে সিদ্ধান্তে আসেন যে,

(a) এই গতি নিরবিচ্ছিন্ন, চিরস্থায়ী, অনিয়মিত ও এলোমেলো। একই অঞ্চলে অবস্থিত হলেও দুটি কণার গতিতে কোন মিল নেই। (b) তরলের সান্দ্রতা যত বাড়ে, গতিও তত বৃদ্ধি পায়। কণিকা যত ছোট হয়, গতিও তত বাড়ে। (c) বেগের বৃদ্ধি উষ্ণতা বৃদ্ধির সমানুপাতী ; উষ্ণতা যত বাড়ে, বেগও তত বাড়তে থাকে। একই উষ্ণতায়, একই আকারের (size) দুটি কণা অনুরূপ বেগসম্পন্ন। (d) তরলের পৃষ্ঠটান, রাসায়নিক বিক্রিয়া, পাত্রের নড়াচড়া এগুলির উপর এই গতি মোটেই নির্ভরশীল নয়।

এই তথ্যগুলোর উপর ভিত্তি করে স্থির হয় যে, তাপীয় উত্তেজনার ফলে তরলের অণুগুলো যে নিরন্তর বেগ অর্জন করে তার দরুনই প্রলম্বিত কণিকা-গুলোর ঐরূপ গতি দেখা দেয়। ক্ষুদ্র কণিকার **ব্রাউনীয় গতি তরলের অণুর নিরন্তর তাপীয় গতির (thermal motion) বহিঃপ্রকাশ মাত্র।**

প্রলম্বিত কণিকাগুলো তরলের অণুর তুলনায় লক্ষ গুণ বড়। তাপীয় উত্তেজনায় সঞ্চরণশীল তরল অণুগুলো ঐ কণিকাকে সর্বদা চারদিক থেকে

আঘাত করে। কণিকার আকার খুব বড় হলে, যে কোন মুহূর্তে সমসংখ্যক অণু চারদিক থেকে তাকে আঘাত হানে এবং ফলে কোন গতির সৃষ্টি হয় না। কিন্তু বস্তুকণা খুব ছোট হলে, আণবিক সংঘাতগুলো চারদিক থেকে সমানভাবে পড়ে না—ক্রিয়াশীল একটি অসম বল কণিকাকে গতি দেয়। যেহেতু আণবিক সংঘাতগুলো অনিয়মিত ও এলোমেলো, ব্রাউনীয় গতিও তাই এলোমেলো হয়। কাজেই **ব্রাউনীয় গতি পদার্থের গতিতত্ত্বের মূল ধারণার**—তাপীয় উত্তেজনায় অণুর নিরন্তর গতির—**প্রত্যক্ষ প্রমাণ।**

8.3 গ্যাসের গতিতত্ত্বের মূল অঙ্গীকার : আদর্শ গ্যাস (Basic assumptions of kinetic theory : Perfect gas)

গ্যাসের গতিতত্ত্ব নিম্নলিখিত বিষয়গুলোকে অঙ্গীকার ধরে নিয়ে অগ্রসর হয়।

i) সকল গ্যাসই বিন্দুভর অণুদ্বারা গঠিত। একই গ্যাসের অণুগুলো সবই এক জাতীয় কিন্তু বিভিন্ন গ্যাসের অণুগুলি বিভিন্ন এবং এদের ব্যবহার কঠিন, মসৃণ ও সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক গোলকের ন্যায়।

(ii) গ্যাসের অণুগুলো সদাচঞ্চল : $0-\infty$ পর্যন্ত বিস্তৃত যদৃচ্ছ গতিতে ইতস্তত গতায়াত করে। এর ফলে নিজেদের মধ্যে এবং ধারকের দেওয়াল পাত্রের সঙ্গে ঘন ঘন সংঘর্ষ হয়।

(iii) অণুগুলোর মধ্যে পারস্পরিক কোন আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল নেই। অর্থাৎ গ্যাসের শক্তি সমস্তটাই গতিশক্তি।

(iv) ধারকের মোট আয়তনের তুলনায় অণুগুলোর নিজেদের প্রকৃত আয়তন উপেক্ষা করা চলে।

(v) পরপর দুটি সংঘর্ষের অবকাশে গ্যাস অণুগুলোর গতি সরলরৈখিক সমবেগ। স্থূল গণনার ক্ষেত্রে, একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় গ্যাসটির সব অণুর ক্ষেত্রেই এই বেগ সমান ধরা চলে।

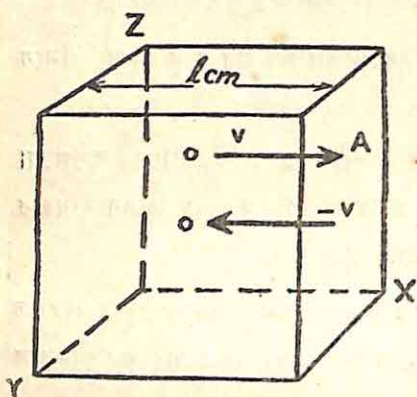
(vi) দুই সংঘর্ষের অন্তবর্তীকালীন সময়ের তুলনায় সংঘর্ষে ব্যয়িত সময় ধর্তব্যের মধ্যে নয়। অর্থাৎ সংঘর্ষগুলি তাৎক্ষণিক (instantaneous).

যে গ্যাসের ক্ষেত্রে উপরের এই অঙ্গীকারগুলো পুরোপুরি প্রযুক্ত হয় তাকে **আদর্শ গ্যাস** বলে।

8.4 আদর্শ গ্যাসের চাপ (Pressure of an ideal gas)

যদৃচ্ছ গতির ফলে গ্যাসের অণুগুলো ক্রমাগত ধারকের দেওয়াল গাত্রে ধাক্কা দেয় এবং প্রতিহত হয়ে ফিরে আসে। m-ভর বিশিষ্ট এবং u বেগে গতিশীল একটি অণু ধারকের দেওয়ালের সঙ্গে অভিলম্ব-সংঘর্ষে $-u$ বেগ নিয়ে প্রতিহত হয়। কাজেই অণুটির ভরবেগের পরিবর্তন

$$=mu-(-mu)=2mu$$

প্রতিটি সংঘর্ষে ধারকের দেওয়াল যে পরিমাণ ঘাত লাভ করে তা ভরবেগের পরিবর্তনের সমান। যদি প্রতি সেকেণ্ডে এই জাতীয় বহুসংখ্যক সংঘর্ষ ঘটে, তা হলে নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে, দেওয়ালের উপর প্রযুক্ত বলের গড়মান = ঐ সেকেণ্ডে ভরবেগের মোট পরিবর্তন। আর দেওয়াল গাত্রের একক ক্ষেত্রফলে বলের পরিমাণই হল চাপ।

চিত্র 50

এই ভিত্তিতে গণনা করলে দেখা যায় যে, গ্যাসের চাপ P (চরম এককে) এর মান হল :

$$P=\frac{1}{3}mnc^2 \quad \cdots \quad (1)$$

এখানে m = একটি অণুর ভর, n = গ্যাসের প্রতি সি.সি-তে অণুর সংখ্যা, c^2 = অণুগুলোর গড় বেগের বর্গ।

(1) নং সমীকরণ থেকে $P=\frac{1}{3}\rho c^2$, $\rho=mn$=ঘনত্ব।

8.5 গতিতত্ত্ব অনুসারে উষ্ণতার ধারণা (Concept of temperature from kinetic theory)

(1) নং সমীকরণ থেকে সহজেই লেখা যায় :

$$PV=\frac{1}{3}mnVc^2$$

$$=\frac{1}{3}mNc^2$$

এখানে $N=nV$ = ধারকে মোট অণুর সংখ্যা, V = ধারকের আয়তন। যদি একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় c এর মান ধ্রুবক হয়, তা হলে

$$PV=\text{ধ্রুবক}, \text{ (একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায়)}$$

ধর, N_o = গ্যাসের এক গ্রাম-অণুতে অণুর সংখ্যা অর্থাৎ অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা। তা হলে, এক গ্রাম-অণু পরিমাণ গ্যাসের ক্ষেত্রে

$$PV=\frac{1}{3}mN_oc^2$$

এই সমীকরণের সঙ্গে আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ

$$PV=R_oT$$

তুলনা করলে : $\frac{1}{3}mN_oc^2=R_oT$ (R_o = সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক)

এখানে, একটি গ্যাস-অণুর গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mc^2$

$$\therefore \quad \frac{1}{2}mc^2=\frac{3}{2}.\frac{R_o}{N_o}.T=\frac{3}{2}kT \qquad \cdots \quad (2)$$

এখানে $k=R_o/N_o$ = গ্যাস ধ্রুবক/অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা

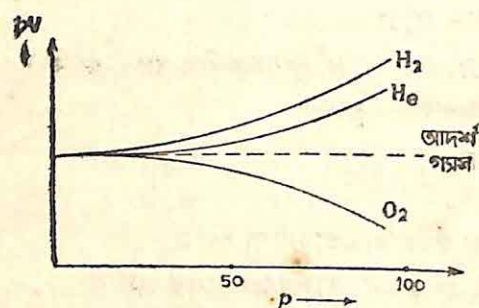
= একটি ধ্রুবক = বোলৎজমানের ধ্রুবক

(2) নং সমীকরণের সিদ্ধান্ত হল : **একটি গ্যাস অণুর গতিশক্তি পরম স্কেলের উষ্ণতার সমানুপাতী।** গতিতত্ত্ব অনুসারে এই হল উষ্ণতার তাৎপর্য। অণুর গতিশক্তি যত বাড়ানো হবে, উষ্ণতাও তত বাড়বে। বিপরীত-পক্ষে, গতিশক্তি হ্রাস পেলে উষ্ণতাও হ্রাস পাবে। অর্থাৎ **উষ্ণতা হচ্ছে গ্যাস অণুর গতিশক্তির পরিমাপক।** কাজেই উষ্ণতার জন্য একটি নিম্নতম আণবিক বেগ অবশ্যই চাই। ঐ বেগ শূন্যের কোঠায় নামলে উষ্ণতা **পরম শূন্যে** নেমে যায়।

8.6 আদর্শ গ্যাস সমীকরণের সীমাবদ্ধতা (Limitations of ideal gas equation)

আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ হল $PV=RT$। কাজেই নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দিষ্ট পরিমাণ আদর্শ গ্যাসের চাপ P এবং আয়তন V যদি ছক কাগজে আঁকা হয় তবে সমীকরণ অনুযায়ী লেখটি (PV = ধ্রুবক) একটি সম-পরাবৃত্ত (rectangular hyperbola) হবে। অথবা, উল্লম্ব অক্ষ বরাবর PV এবং অনুভূমিক অক্ষ বরাবর P আঁকলে লেখটি চাপ-অক্ষের সমান্তরাল একটি সরলরেখা হবে, কেননা P-র মান যাই হোক না কেন, PV সর্বদাই ধ্রুবক। যদি কোন বাস্তব গ্যাসের PV বনাম P লেখ আঁকা হয় তবে দেখা যায় যে, লেখটি সরলরেখা হয় না। অর্থাৎ বাস্তব গ্যাস আদর্শ গ্যাস সমীকরণ যথাযথ মানে না। আদর্শ গ্যাসের লেখচিত্র থেকে পরীক্ষাধীন বাস্তব গ্যাসের লেখ

কতটা বিচ্যুত হয় তা থেকে আদর্শ গ্যাসের আচরণ থেকে বাস্তব গ্যাসের আচরণের ভিন্নতা বোঝা যায়।

পরীক্ষায় দেখা গেছে, কেবলমাত্র উচ্চ উষ্ণতায় এবং নিম্ন চাপে (0 03 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ থেকে প্রায় 4 বায়ুমণ্ডলীয়) চাপ পর্যন্ত সাধারণ গ্যাসগুলো আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ কিছুটা মেনে চলে। 1847 সালে রেনো এ সম্পর্কে বিস্তারিত পরীক্ষা করেন। তিনি 30 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ পর্যন্ত বিভিন্ন চাপ এবং 0°C-100°C পর্যন্ত উষ্ণতা ব্যবহার করে দেখেন যে, বিভিন্ন গ্যাসের $PV-P$ লেখর কোনটাই চাপ-অক্ষের সমান্তরাল হচ্ছে না; চাপ-অক্ষের সঙ্গে আনত হচ্ছে। একমাত্র হাইড্রোজেন ও হিলিয়ম ছাড়া অন্য সব গ্যাসের বেলায়, চাপ-বৃদ্ধির সঙ্গে PV হ্রাস পাচ্ছে। হাইড্রোজেন ও হিলিয়মের ক্ষেত্রে চাপ-বৃদ্ধির PV-র বৃদ্ধি ঘটছে। অর্থাৎ আদর্শ গ্যাস নিছক কল্পনা মাত্র। বাস্তব গ্যাসের সঙ্গে কেউ-ই আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মানে না।

চিত্র 51

অনুশীলনী

1. গ্যাসের গতিতত্ত্বের মূল অঙ্গীকারগুলো কি কি?

2. গ্যাসের ঘনত্ব এবং গড় বেগের সঙ্গে গতিতত্ত্ব গ্যাসের চাপের কি সম্পর্ক প্রতিষ্ঠিত করে?

3. গতিতত্ত্ব অনুযায়ী উষ্ণতার ব্যাখ্যা কি? এই তত্ত্বানুসারে পরমশূন্য উষ্ণতা ব্যাখ্যা কর।

4. কোন আদর্শ গ্যাস যে চাপ প্রয়োগ করে তা একক আয়তনে গ্যাস-অণুর গতিশক্তির দুই-তৃতীয়াংশ—প্রমাণ কর।

5. আদর্শ গ্যাস সমীকরণের সীমাবদ্ধতা সম্পর্কে আলোচনা কর।

6. ব্রাউনীয় গতি বলতে কি বোঝ? এই গতির বৈশিষ্ট্য কি? এ থেকে গতিতত্ত্বের পক্ষে কি সিদ্ধান্ত হয়? ব্রাউনীয় গতির কারণ কি?

9

নবম অধ্যায়

তাপ সঞ্চালন
(Heat transmission)

9.1 তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতি
(Different methods of heat transmission)

তাপ স্বভাবত উষ্ণ অঞ্চল থেকে কম উষ্ণ অঞ্চলে সঞ্চালিত হয়। এই সঞ্চালন ক্রিয়া তিনটি বিভিন্ন পদ্ধতিতে হয়ে থাকে। এগুলি হল : **পরিবহণ** (**conduction**), **পরিচলন** (**convection**) এবং **বিকিরণ** (**radiation**)।

পরিবহণ : যে পদ্ধতিতে বস্তুর উষ্ণ অংশ থেকে শীতল অংশে তাপের সঞ্চালন ঘটে অথচ তাপবাহী বস্তুকণাগুলো কোনরূপ স্থানচ্যুত হয় না, তাকে **পরিবহণ** বলে।

পরীক্ষা : একটা স্টিলের চামচের একপ্রান্ত হাতে ধরে বিপরীত প্রান্ত একটি স্পিরিট ল্যাম্প বা বার্নারের অগ্নিশিখায় গরম কর। দেখ, কিছুক্ষণ পরে হাতে বেশ তাপ লাগছে। কেন? চামচের যে প্রান্ত আগুনে সে-প্রান্তের বস্তুকণাগুলো তাপ পেয়ে উত্তপ্ত হল। তারা পাশের ঠাণ্ডা বস্তুকণাকে তাপ হস্তান্তর করল। কণা থেকে কণাতে হস্তান্তরিত হয়ে তাপ অন্য প্রান্তে পৌঁছে গেল। চামচের এক প্রান্ত থেকে অপর প্রান্তে তাপ সঞ্চালনের এই পদ্ধতিতে বস্তুকণাগুলো কিন্তু নিজ নিজ স্থানেই রইল, এ-প্রান্ত থেকে ও-প্রান্তে গেল না। তাপ সঞ্চালনের এই পদ্ধতি হল **পরিবহণ**। পরিবহণ পদ্ধতিতে **কঠিন পদার্থ** সহজেই উত্তপ্ত হয়।

পরিচলন : গরম স্টিলের চামচটি আগুন থেকে বাইরে আন এবং তার সামান্য কিছু উপরে হাত রাখ। দেখ, গরম বোধ হচ্ছে। উত্তপ্ত চামচের সংস্পর্শে এসে বায়ু গরম হয়ে উপরে উঠছে, তাতেই হাতে গরম বোধ হচ্ছে। এখানে তাপের বাহক হল বায়ুর কণিকা, ঘনাঙ্কের পরিবর্তনের ফলে বায়ু কণিকায় গতির সঞ্চার হচ্ছে। তাপ সঞ্চালনের এই পদ্ধতি হল **পরিচলন**। স্পষ্টত, কঠিন পদার্থে পরিচলন পদ্ধতি সম্ভব নয়। পরিচলন পদ্ধতিতে **তরল ও গ্যাসীয়** পদার্থ সহজে এবং ভালভাবে উত্তপ্ত হয়।

যে পদ্ধতিতে পদার্থের উত্তপ্ত কণিকগুলো নিজ নিজ স্থান পরিবর্তন করে উষ্ণতর অংশ থেকে শীতলতর অংশে তাপ বহন করে নিয়ে যায় তাকে **পরিচলন** বলে।

বিকিরণ : যদি উত্তপ্ত চামচের উপরে হাত না রেখে, চামচের সামান্য কিছু নিচে হাত রাখা হোত, তা হলেও হাতে গরম বোধ হতো, তবে অতটা নয়। চামচ সরিয়ে নিলে গরম বোধ-ও সঙ্গে সঙ্গে অদৃশ্য হত। কাজেই এক্ষেত্রে চামচ ও হাতের মধ্যবর্তী অংশের বায়ু গরম হয় নি—পরিবহণ বা পরিচলন কোন পদ্ধতিতেই চামচ থেকে তাপ হাতে পৌছয় না। যে প্রক্রিয়ায় এক্ষেত্রে তাপের সঞ্চালন ঘটছে তার নাম বিকিরণ। আমরা সূর্য থেকে ঠিক এভাবেই তাপ পাই। কি করে ঐ তাপ এখানে আসে ? সূর্য ও পৃথিবীর মাঝে মহাশূন্য। কোন জড়-মাধ্যম নেই। কাজেই পরিবহণ বা পরিচলনে সৌরতাপের পৃথিবীতে আসা সম্ভব নয়। তা ছাড়া, সূর্যর শ্মি পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল ভেদ করলেও বায়ুমণ্ডল গরম হয় না। এই হল বিকিরণ পদ্ধতি।

যে পদ্ধতিতে তাপ কোন জড়-মাধ্যমের সাহায্য ছাড়া বা জড়-মাধ্যম থাকলে তাকে উত্তপ্ত না করে সরলরেখায় সর্বত্র সঞ্চালিত হয় তাকে বিকিরণ বলে।

তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতির তুলনা
(Comparisom of different modes of transmission)

পরিবহণ	পরিচলন	বিকিরণ
1. জড়-মাধ্যম চাই	1. জড়-মাধ্যম চাই	1. জড়-মাধ্যম প্রয়োজন নেই
2. মাধ্যম উত্তপ্ত হয়	2. মাধ্যম উত্তপ্ত হয়	2. মাধ্যম উত্তপ্ত হয় না
3. বস্তুকণা স্থানত্যাগ করে না	3. বস্তুকণা স্থানত্যাগ করে	3. ————
4. কঠিন পদার্থ এই পদ্ধতিতে সহজে উত্তপ্ত হয়	4. তরল ও গ্যাসীয় পদার্থ এই পদ্ধতিতে সহজে উত্তপ্ত হয়	4. কঠিন, তরল, গ্যাসীয় সকলেই এই পদ্ধতিতে উত্তপ্ত হয়
5. খুব ধীর পদ্ধতি	5. খুব ধীর পদ্ধতি	5. খুব দ্রুত পদ্ধতি
6. সরল বা বক্রপথে হয়	6. সরল বা বক্রপথে হয়	6. কেবল সরলপথে হয়

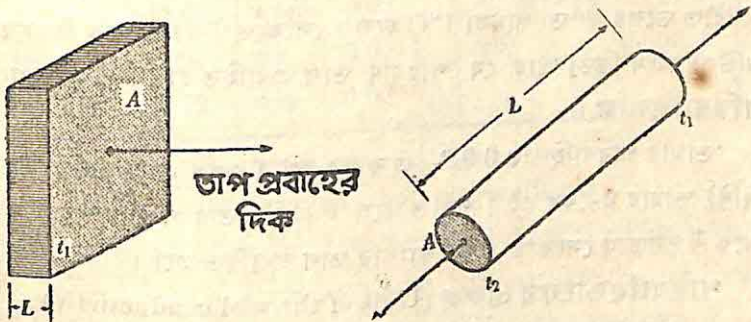
9.2 তাপ পরিবাহিতা : পরিবাহিতাঙ্ক
(Thermal conductivity : Coefficient of)

পদার্থের তাপ পরিবহণ করার ধর্মকে তাপ পরিবাহিতা বলে। সকল পদার্থ সমান পরিবাহী নয়। যেমন একটা কাচদণ্ডের এক প্রান্ত আগুনে ধরে

অন্য প্রান্ত অনেকক্ষণ হাতে ধরে রাখা যায়। কিন্তু দণ্ডটি কাচের না হয়ে লোহা বা তামার হলে অতক্ষণ ধরে রাখা সম্ভব হত না। লোহা বা তামার পরিবাহিতা কাচের চেয়ে অনেক বেশি।

যে সমস্ত পদার্থের তাপ পরিবহণ ক্ষমতা বেশি সেগুলির ভিতর দিয়ে তাপ সহজে ও দ্রুত সঞ্চালিত হয়। এই পদার্থগুলোকে তাপের **সুপরিবাহী** (good conductors) বলে। সোনা, রূপা, লোহা, তামা ইত্যাদি প্রায় সব ধাতুই তাপের সুপরিবাহী। এর মধ্যে রূপা সবচেয়ে বেশি, তারপরে তামা। সাধারণত তরলের তুলনায় কঠিন পদার্থ ভাল পরিবাহী। আবার গ্যাসের তুলনায় তরল বেশি পরিবাহী।

যে সব পদার্থের পরিবাহিতা খুব কম, অর্থাৎ নেই বললেই চলে তাদের ভিতর দিয়ে তাপ সহজে সঞ্চালিত হতে পারে না। এরা তাপের **কুপরিবাহী** (bad conductors)। যেমন বায়ু, কাচ, রবার, কাঠ, কাগজ, উল, তুলো অ্যাসবেস্টস ইত্যাদি। কুপরিবাহী পদার্থকে তাপের **অন্তরক** (insulator) হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

পরিবাহিতাঙ্ক ঃ এতোক্ষণ পরিবাহিতা সম্পর্কে সাধারণ আলোচনা করা হল। কিন্তু কোন পদার্থের পরিবাহিতা সম্পর্কে পরিমাণগত বোধ কিভাবে হবে? এই বোধ জন্মানোর জন্য **পরিবাহিতাঙ্ক** কথাটি ব্যবহৃত হয়। যে বস্তুর পরিবাহিতাঙ্ক যত বেশি সে তত বেশি সুপরিবাহী। কিন্তু পরিবাহিতাঙ্ক বলতে কি বোঝায়?

চিত্র 52

কোন পদার্থের ভিতর দিয়ে এক স্থান থেকে অন্যত্র কি পরিমাণ তাপ পরিবাহিত হবে তা একাধিক বিষয়ের উপর নির্ভর করে। ধর, কোন পদার্থের

স্তম্ভাকৃতি বা বেলনাকৃতি ব্লক নেওয়া হল। দুই বিপরীত প্রস্থচ্ছেদের প্রত্যেকের ক্ষেত্রফল A, ওদের অন্তবর্তী দূরত্ব L এবং উষ্ণতা যথাক্রমে t_1, t_2 ($t_2 > t_1$)। পরীক্ষায় দেখা গেছে, স্থিত-অবস্থায় উষ্ণতর প্রস্থচ্ছেদ থেকে তাপ লম্বভাবে (বেলনের ক্ষেত্রে অক্ষ বরাবর) শীতলতর প্রস্থচ্ছেদের দিকে প্রবাহিত হয় এবং স্থিতাবস্থায় প্রবাহিত তাপ-পরিমাণ Q

(i) প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A-র সমানুপাতী, অর্থাৎ $Q \propto A$; (ii) প্রস্থচ্ছেদ-দ্বয়ের উষ্ণতা-পার্থক্য $(t_2 - t_1)$-এর সমানুপাতী অর্থাৎ $Q \propto (t_2 - t_1)$; (iii) যতক্ষণ ধরে প্রবাহ চলে সেই সময় t-র সমানুপাতী অর্থাৎ $Q \propto t$; এবং (iv) প্রস্থচ্ছেদদ্বয়ের দূরত্ব L-এর ব্যস্তানুপাতী, অর্থাৎ $Q \propto 1/L$.

$\therefore$ গাণিতিক ভাষায়, $Q \propto A \dfrac{t_2 - t_1}{L} t$

$$\text{বা } Q = KA \frac{t_2 - t_1}{L} t \quad \cdots \quad (1)$$

এখানে $K=$ একটি ধ্রুবক ; ধ্রুবকের মান ঐ বস্তুর উপাদানের উপর নির্ভরশীল। এই ধ্রুবকটিকে **পরিবাহিতাঙ্ক** (Coefficient of thermal conductivity বা thermal conductivty) বলে। $(t_2 - t_1)/L$ রাশিটিকে **উষ্ণতার নতি** (temperature gradient) বলা হয়।

(1) নং সমীকরণে যদি $A = 1, t_2 - t_1 = 1, t = 1$ এবং $L = 1$ বসানো হয় তবে $Q = K$ হয়। এ থেকে আমরা K-র সংজ্ঞা দিতে পারি।

সংজ্ঞা : একক বেধ ও একক ক্ষেত্রফলযুক্ত কোন পদার্থের ঘনকের দুই বিপরীত তলের উষ্ণতা-পার্থক্য 1°C হলে 1 সেকেণ্ডে উষ্ণতল থেকে শীতলতলে অভিলম্বভাবে স্থিতাবস্থায় যে পরিমাণ তাপ প্রবাহিত হয় তা-ই ঐ পদার্থের **পরিবাহিতাঙ্ক।**

'তামার পরিবাহিতাঙ্ক 0·92'—এ কথার অর্থ 1 সেমি দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা বিশিষ্ট তামার ঘনকের দুই বিপরীত তলে 1°C উষ্ণতার পার্থক্য হলে উষ্ণতল থেকে শীতলতলে সেকেণ্ডে 0·92 ক্যালরি তাপ প্রবাহিত হবে।

পরিবাহিতাঙ্কের একক (Unit of thermal conductivity)

(1) নং সমীকরণ থেকে $K = QL/A(t_2 - t_1)t$

$\therefore$ সি. জি. এস পদ্ধতিতে : $K = \dfrac{\text{ক্যালরি} \times \text{সেমি}}{(\text{সেমি})^2 \times {}^\circ\text{C} \times \text{সেকেণ্ড}}$

$= \text{ক্যালরি সেমি}^{-1} \text{ সেকেণ্ড}^{-1} \, {}^\circ\text{C}^{-1}$

একইভাবে এফ. পি. এস পদ্ধতিতেও পরিবাহিতাঙ্ককে প্রকাশ করা চলে।

লক্ষ্য কর ঃ (1) নং সমীকরণ থেকে তাপপ্রবাহের হার বা প্রবাহমাত্রা, Q/t, বের করা চলে।

$$\therefore \quad \text{প্রবাহমাত্রা } \frac{Q}{t}=(t_2-t_1)\frac{L}{KA}$$

তড়িৎ-প্রবাহের সাদৃশ্য থেকে উপরের সমীকরণ ওহম-সূত্রের সদৃশ।

$$\text{ওহম সূত্র ঃ} \qquad \text{প্রবাহমাত্রা } = \frac{\text{বিভব পার্থক্য}}{\text{রোধ}}$$

$$\text{এখানে (তাপীয়) প্রবাহমাত্রা } = \frac{\text{উষ্ণতা পার্থক্য}}{L/KA}$$

$\therefore$ L/KA কে পদার্থের **তাপীয় রোধ** (Thermal resistanc() B বলা চলে।

লক্ষ্য কর ঃ বৈদ্যুতিক রোধের ন্যায় তাপীয় রোধ $R \propto L$, অ'াৎ ব্লকের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতী ; $R \propto 1/A$ অর্থাৎ প্রস্থচ্ছেদের ব্যস্তানুপাতী। অতএব স্পষ্টত $1/K$-কে **রোধাঙ্ক** (thermal resistivity) বলা চলে।

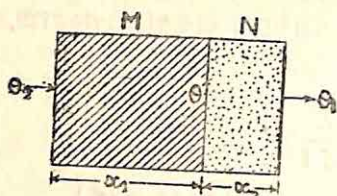
$$\therefore \quad \text{রোধাঙ্ক } \rho = 1/K = 1/\text{পরিবাহিতাঙ্ক}$$

তালিকা 9.1 ঃ পরিবাহিতাঙ্ক (সি. জি. এস এককে)

অ্যালুমিনিয়ম	0·50	লোহা	0·115	বালি	0·00013
পিতল	0·26	সীসা	0·083	বায়ু	0·00006
তামা	0·92	পারদ	0·02	অ্যাসবেসটস	0·0003
রূপা	0·97	জল	0·0014	কর্ক	0·00011
সোনা	0·72	কাচ	0·0025		

9.4 সংযুক্ত দেওয়াল মাধ্যমে পরিবহণ (Conduction through composite walls)

দুটি সমান্তরাল ও সমতল পৃষ্ঠযুক্ত ব্লক (slab) M ও N পরস্পর সংস্পর্শে রাখা আছে। x_1 ও x_2 যথাক্রমে ব্লক দুটির বেধ এবং K_1, K_2 ওদের উপাদানের পরিবাহিতাঙ্ক। ধর, M-র বাইরের পিঠ গরম করা হচ্ছে। তা হলে তাপ সংযুক্ত দেওয়াল পেরিয়ে N ব্লকে প্রবেশ করবে এবং N-র বাইরের পিঠ দিয়ে বেরিয়ে যাবে। ফলে তাপের গতিপথের অভিলম্বে অবস্থিত বিভিন্ন স্তরে একটা স্থিতাবস্থা আসবে।

ধরা যাক, স্থিতাবস্থায়, θ_2 = M-র বাইরের পিঠের উষ্ণতা

θ = দুই ব্লকের সংযুক্ত তলের উষ্ণতা

θ_1 = N-র বাইরের পিঠের উষ্ণতা

$\therefore$ M-ব্লক পথে t-সময়ে যে তাপ পরিবাহিত হবে তা হল

$$Q_1 = K_1 \frac{A(\theta_2 - \theta)t}{x_1} \text{ ; } A = \text{ব্লকের তলক্ষেত্র}$$

চিত্র 53

অনুরূপভাবে, N-ব্লক পথে t-সময়ে পরিবাহিত তাপ

$$Q_2 = K_2 \frac{A(\theta - \theta_1)t}{x_2}$$

স্থিতাবস্থায়, $Q_1 = Q_2 = Q$, ধর।

$$\therefore \quad \frac{Q}{t} = \frac{A(\theta_2 - \theta)}{\frac{x_1}{K_1}} = \frac{A(\theta - \theta_1)}{\frac{x_2}{K_2}} = \frac{A(\theta_2 - \theta_1)}{\frac{x_1}{K_1} + \frac{x_2}{K_2}} \qquad \cdots(2)$$

লক্ষ্য কর : (2) নং সমীকরণ থেকে সংযুক্ত তলের উষ্ণতা $\theta = (K_1\theta_2 x_2 + K_2\theta_1 x_1)/(K_2 x_1 + K_1 x_2)$.

9.5 তুল্য পরিবাহিতাঙ্ক (Equivalent conductivity)

যদি দুটি ব্লকের বদলে $(x_1 + x_2)$ বেধের একটি ব্লক থাকতো এবং ওর উপাদানের পরিবাহিতাঙ্ক K হত এবং বিপরীত পৃষ্ঠদ্বয়ের উষ্ণতা সংযুক্ত ব্লকের অনুরূপ θ_2, θ_1 রাখা হত এবং মনে করা হত যে, প্রবাহমাত্রা একই আছে তবে

$$\frac{Q}{t} = \frac{A(\theta_2 - \theta_1)}{\frac{x_1 + x_2}{K}} \qquad \cdots(3)$$

(2) ও (3) নং সমীকরণ তুলনা করে $\dfrac{x_1 + x_2}{K} = \dfrac{x_1}{K_1} + \dfrac{x_2}{K_2}$

এখানে K-কে **তুল্য পরিবাহিতাঙ্ক** বলে।

দ্রষ্টব্য : স্পষ্টত n-সংখ্যক ব্লকের ক্ষেত্রে

$$\frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{K} = \frac{x_1}{K_1} + \frac{x_1}{K_2} + \cdots + \frac{x_n}{K_n} \quad \text{বা,} \quad \frac{\Sigma x_n}{K} = \Sigma \frac{x_n}{K_n}$$

9.5 পুকুরে জল জমে বরফ হওয়া (Freezing of a pond)

ধর, শীতল বায়ু ($<0°C$)-র সংস্পর্শে জলাশয়ের উপরের স্তরের উষ্ণতা $0°C$ হয়েছে। এবারে লীন তাপ বায়ুতে ছেড়ে উপরের জল পাতলা বরফস্তরে পরিণত হবে। বরফস্তরকে আরও পুরু হতে হলে ক্রমবর্ধমান বরফস্তর ভেদ করে জল থেকে বায়ুতে ক্রমাগত তাপ সঞ্চালন প্রয়োজন।

ধর, (t_2-t_1) সেকেণ্ডে বরফস্তরের বেধ x_1 থেকে বেড়ে x_2 হয়; কাজেই, ঐ সময়ে গড় বেধ $\frac{1}{2}(x_1+x_2)$; বরফের উপরের উষ্ণতা $-\theta°C$ হলে উষ্ণতার নতি $=\theta\div\frac{1}{2}(x_1+x_2)$। এখন (x_2-x_1) পুরু একক ক্ষেত্রফলের বরফস্তর তৈরি করতে (t_2-t_1) সেকেণ্ডে $L\rho(x_2-x_1)$ পরিমাণ তাপ হরণ প্রয়োজন (L=লীনতাপ, ρ=ঘনাঙ্ক)।

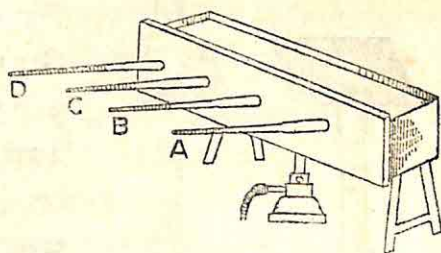
$$\therefore\quad L\rho(x_2-x_1)=K\frac{\theta}{\frac{1}{2}(x_1+x_2)}(t_2-t_1)$$

$$\therefore\quad t_2-t_1=\frac{1}{2}\frac{L\rho}{K\theta}(x_2^2-x_1^2)$$

$\therefore$ শূন্য থেকে x-বেধের স্তর তৈরিতে সময় $t=\frac{1}{2}\frac{L\rho}{K\theta}x^2$

9.6 বিভিন্ন পদার্থের পরিবাহিতাঙ্কের তুলনা (Comparison of conductivities)

পরীক্ষা: বিভিন্ন পদার্থের তাপ পরিবাহিতা যে বিভিন্ন বিজ্ঞানী **ইনজেনহউস** তা নিম্নোক্ত সহজ পরীক্ষার (চিত্র 54) সাহায্যে প্রমাণ করেন।

উপকরণ: একটি ছোট টিনের (বা অন্য কোন ধাতুর) বাক্স। বাক্সের উপরটা খোলা, আর পাশের দিকের দেওয়াল গাত্রে এক সারিতে কয়েকটি ফুটো থাকবে, বিপরীত দেওয়ালে থাকবে একটা তাপ কুপরিবাহী হাতল; সমান লম্বা এবং সমান মোটা কয়েকটি দণ্ড (ধাতু দণ্ড, কাঠের দণ্ড ইত্যাদি) A, B, C, D মোম, কর্ক ও জল।

চিত্র 54

পদ্ধতি: প্রত্যেকটি ফুটো কর্কের সাহায্যে বন্ধ কর এবং কর্কের ভিতর দিয়ে দণ্ডগুলো পাত্রে ঢোকাও। প্রত্যেক দণ্ডের সম-পরিমাণ অংশ যেন পাত্রটির

ভিতরের দিকে থাকে। মোম গলিয়ে প্রতিটি দণ্ডের বাইরের দিকে সমানভাবে প্রলেপ দাও। এবারে টিনের বাক্সে বা ধাতুপাত্রে জল ঢেলে ফোটাও।

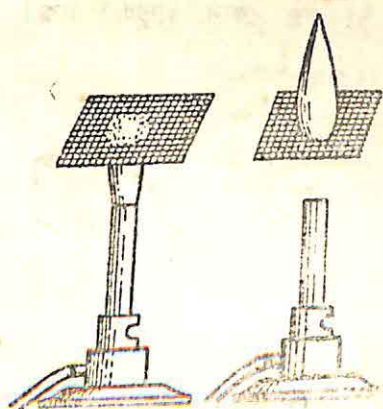
পর্যবেক্ষণ ঃ দেখ, কিছুক্ষণের মধ্যে প্রতিটি দণ্ডে মোমের প্রলেপ গলতে শুরু করেছে। আরও কিছুক্ষণ অপেক্ষা কর। দেখ, বিভিন্ন দণ্ডে বিভিন্ন দূর অবধি মোম গলে মোম গলা বন্ধ হল।

সিদ্ধান্ত ঃ প্রত্যেক দণ্ডের এক প্রান্তে ফুটন্ত জলের উষ্ণতা। বিপরীত প্রান্ত ঠাণ্ডা, তাই পরিবাহিত হয়ে জলের তাপ বিপরীত প্রান্তে এল, মোম গললো। কিছুক্ষণ পরে যখন প্রত্যেক দণ্ডের উষ্ণতা স্থির অবস্থায় আসছে, তখন মোম-গলা বন্ধ হচ্ছে। বিভিন্ন দণ্ডের পরিবাহিতা বিভিন্ন, কাজেই বিভিন্ন দণ্ডের মোম-গলার দৈর্ঘ্যও বিভিন্ন। যে দণ্ডে মোম সবচেয়ে বেশি দূর অবধি গলেছে, তার পরিবাহিতা সবচেয়ে বেশি, যার মোম সবচেয়ে কম দূর পর্যন্ত গলেছে, তার পরিবাহিতা সবচেয়ে কম।

যদি বিভিন্ন বস্তুর পরিবাহিতাঙ্ক $K_1, K_2, K_3 \cdots$ হয় এবং আনুষঙ্গিক মোম-গলা দৈর্ঘ্য $l_1, l_2, l_3, \cdots$ হয় তবে দেখানো যায় যে,

$$\frac{K_1}{l_1^2} = \frac{K_2}{l_2^2} = \frac{K_3}{l_3^2}$$

9.7 পরিবহণের কয়েকটি ফলাফল ও ব্যবহারিক প্রয়োগ (Some consequences and practical applications)

পরীক্ষা ঃ জলন্ত একটা বার্নারের শিখার উপর একটা তামার তার-জালি চেপে ধর। দেখ, তার ভেদ করে শিখা কিছুতেই উপরে উঠছে না, জালির নিচে জলছে (চিত্র 55)। কিন্তু কেন? তামা সুপরিবাহী। শিখা জালির সংস্পর্শে এলেই জালি চারদিকে তাপ ছড়িয়ে দেয়, জালির উপরের গ্যাস কিছুতেই জ্বলনাঙ্কে (ignition point) পৌঁছয় না। এবার বার্নার নিভিয়ে কিছু উপরে জালিটি রাখ। গ্যাস খুলে দাও। জালি ভেদ করে গ্যাস উপরে উঠবে। উপরের গ্যাসে দেশলাই দিয়ে অগ্নিসংযোগ কর। দেখ, শিখা শুধু জালির উপরেই,

চিত্র 55

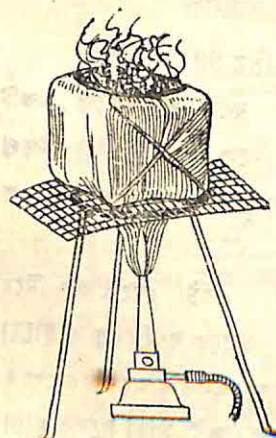
কিছুতেই নিচে প্রসারিত হচ্ছে না। কারণ তামার জালি তাপকে ছড়িয়ে দিয়ে নিচের গ্যাসকে জলনাঙ্কে আসতে দিচ্ছে না।

উপরের পরীক্ষাটি ডেভির নিরাপদ বাতি (Safety lamp)-র (চিত্র 56) ভিত্তি। কয়লাখনিতে নানা দাহ্য গ্যাস থাকে। সাধারণ বাতি নিয়ে খনিতে নামলে আগুন লেগে যাবে। ডেভির বাতি কিন্তু নিরাপদ। এতে ল্যাম্পের শিখার চারদিকে ঘন বুনটের তামার জালি লাগানো থাকে। দাহ্য গ্যাস জালি ভেদ করে অল্প পরিমাণে ভিতরে ঢোকে, সেখানেই জলে; তামা সুপরিবাহী, তাপ চারদিকে ছড়িয়ে দেয়। বাইরের দাহ্য গ্যাস জলনাঙ্কে পৌঁছয় না।

চিত্র 56

শুধু ডেভির নিরাপদ বাতি-ই নয়। প্রাত্যহিক জীবনে আমরা নানাভাবে পরিবহণকে ব্যবহারিক কাজে লাগাই। নিচে তার কয়েকটি দৃষ্টান্ত দেওয়া হল:

1 কেতলির হাতলে প্রায়ই বেত জড়ানো দেখা যায়। এর কারণ কি? বেত তাপের কুপরিবাহী কাজেই কেতলির তাপ বেতের মাধ্যমে পরিবাহিত হয়ে এসে হাতে লাগে না। হাতল ধরার সুবিধা হয়।

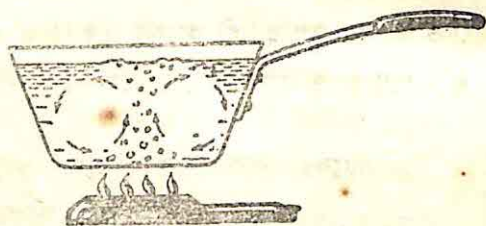
2. বরফের দোকানে বরফ চাঙকে কাঠের গুঁড়ো দিয়ে ঢেকে রাখা হয়। কাঠ তাপের কুপরিবাহী। তাই বাইরের তাপ গুঁড়োয় ঢাকা বরফে ভাল প্রবেশ করতে পারে না। ফলে বরফ দ্রুত গলে যায় না।

3. পাতলা কাগজের ঠোঙায় জল ফোটানো যায় (চিত্র 57)। কাগজ পাতলা হলে ওর ভিতর দিয়ে তাপ সহজেই পরিবাহিত হয়ে জলে পৌঁছয়, জল ক্রমে গরম হতে থাকে, কিন্তু কাগজ পরিবহণের মাধ্যমে তাপ ছড়িয়ে দিয়ে জলনাঙ্কের নিচে থাকে।

চিত্র 57

4. খড়ের চালাঘর গ্রীষ্মে ঠাণ্ডা ও শীতে গরম থাকে। এর কারণ হল, খড় তাপের কুপরিবাহী। গ্রীষ্মে বাইরের প্রচণ্ড তাপ খড় ভেদ করে খুব কমই ঘরের ভিতরে ঢুকতে পারে। ফলে গ্রীষ্মে ঘর ঠাণ্ডা থাকে। শীতকালে এর ঠিক বিপরীত অবস্থা। তখন ঘরের গরম বাইরে বের হতে পারে না, ফলে ঘর গরম থাকে।

5. উল, তুলো প্রভৃতি দিয়ে গরম পরিধেয় এবং লেপ প্রভৃতি শীতকালীন শয্যাদ্রব্য প্রস্তুত করা হয়। এগুলি তাপের কুপরিবাহী। ফলে একদিকে যেমন বাইরের ঠাণ্ডা দেহে প্রবেশ করতে দেয় না, অন্যদিকে তেমনি দেহের উষ্ণতাকেও বেরিয়ে যেতে দেয় না। ফলে আমরা প্রচণ্ড শীতেও বেশ গরম অনুভব করি।

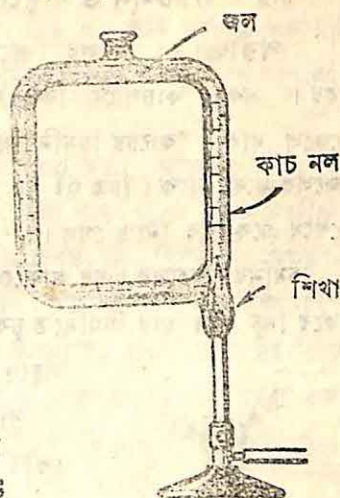
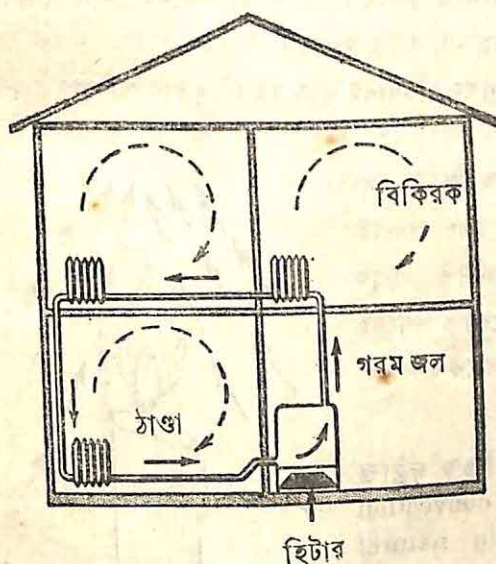
9.8 পরিচলন : পরিচলন চক্র
(Convection : Convection current)

আগেই বলা হয়েছে, পরিচলন প্রক্রিয়া কঠিন পদার্থে সম্ভব নয় ; কেবল তরল ও গ্যাসীয় পদার্থে এই পদ্ধতিতে তাপ-সঞ্চালন ঘটে। যখন তরল বা গ্যাসীয় পদার্থের কেবল অংশ বিশেষ উত্তপ্ত হয় তখন প্রসারণের ফলে পদার্থের সেই অংশের ঘনত্ব কমে যায়। সে অংশ হাল্কা হয়ে উপরে উঠে যায়। শূন্যস্থান পূরণের জন্য তখন ঐ পদার্থের শীতল অংশ ঐ স্থানে আসে। ফলে পদার্থটিতে একটি চক্র-প্রবাহের সৃষ্টি হয়। একে **পরিচলন চক্র** বলে। ঊর্ধ্বগামী উত্তপ্ত অংশ তাপকে বহন করে নিয়ে যায়। তাপ সঞ্চালনের এই পদ্ধতিই হল **পরিচলন**।

চিত্র 58

পরিচলন সংক্রান্ত কয়েকটি পরীক্ষা—(i) একটা ফ্লাস্কে জল নিয়ে তাতে পটাশ পারমাঙ্গানেটের কিছু দানা ফেল। এবারে বার্নারের সাহায্যে ফ্লাস্কটি গরম কর। দেখ, সুন্দর বেগুনি রঙের রেখায় জলের ধারা নিচে থেকে ফোয়ারার মতো উপরে উঠছে এবং ফ্লাস্কের গা বেয়ে একটা সাদা জলের ধারা উপর থেকে নিচে নামছে।

উত্তপ্ত বেগুনি রঙের জল তাপে প্রসারিত হয়ে হাল্কা হয়ে উপরে উঠে যাচ্ছে এবং উপরের ঠাণ্ডা ভারি জল নিচে নেমে আসছে। এভাবে জলে চক্রাকারে একটা প্রবাহ চলতে থাকে এবং ক্রমে জলের সব অংশ সমভাবে গরম হয়ে ওঠে।

(ii) 59নং চিত্রের মতো একটা চারকোণা কাচপাত্র নিয়ে জল ভর্তি কর। পাত্রের মুখে এক টুকরো নীল ছেড়ে দাও। পাত্রের লম্বা বাহুর যে কোনটির তলার দিকে গরম কর। দেখ, ঐ বাহু বরাবর পরিষ্কার জল উপরে উঠছে আর পাশের লম্বা বাহু দিয়ে নীল জল নিচে নামছে। এভাবে একটি জল-প্রবাহের সৃষ্টি হচ্ছে। এরই নাম পরিচলন স্রোত। এই উত্তপ্ত জল স্রোতের দ্বারা তাপ সমস্ত জলে সঞ্চালিত হবে এবং সমস্ত জলের উষ্ণতা একই হবে।

চিত্র 59

এই পরিচলন চক্রের উপর ভিত্তি করেই কিছু কিছু বাড়ীতে, বিশেষত শীতের দেশে, গরম-জলে ঘর উষ্ণ রাখার ব্যবস্থা (**hot-water heating system**) চালু হয়েছে (চিত্র 60)। নিচের একটি কক্ষে হিটারের সাহায্যে ট্যাঙ্কে জল গরম করা হয়, গরম জল পাইপ বেয়ে উপরে উঠে যায়। বিভিন্ন ঘর গরম ক'রে কিছুটা ঠাণ্ডা হয়ে আবার নিচের ট্যাঙ্কে ফিরে আসে। এবং প্রক্রিয়াটি চক্রাকারে চলতে থাকে।

চিত্র 60

9.9 পরিচলন ও বায়ুস্রোত (Convection & air current)

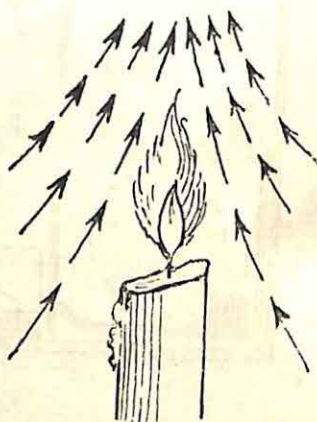
পরীক্ষা ঃ তরলের (জলের) মতো বায়ুতেও পরিচলন স্রোত সৃষ্টি হয়। একটা কাচপাত্রে কিছু জল ঢেলে ওর মধ্যে একটা মোমবাতি বসিয়ে জেলে দাও। কাচের চিমনি দিয়ে বাতিটি এমনভাবে ঢাক যেন চিমনির তলা জলের মধ্যে থাকে (চিত্র 61)। দেখ, মোমবাতি ধীরে ধীরে স্তিমিত হয়ে শেষে একেবারে নিভে গেল।

চিমনির ভিতরের বায়ুর অক্সিজেন দহনে শেষ হয়ে গেলে, নতুন বায়ু জল ভেদ করে নিচু দিয়ে আর চিমনিতে ঢুকতে পারে না। চলাচলের পথ বন্ধ হওয়াতে বায়ুতে পরিচলন সৃষ্টি হচ্ছে না, বাতি নিভে যাচ্ছে।

চিত্র 61

বাতিটি আবার জ্বালো। T-অক্ষরের মতো একটা কার্ডবোর্ড কেটে চিমনির মুখে এমনভাবে রাখো যেন চিমনিটি দুটি প্রকোষ্ঠে ভাগ হয়ে যায়। এবারে বাতিটি কিন্তু মোটেই নিভছে না। চিমনির গরম হাল্কা বায়ু T-কাগজের একপাশ দিয়ে বেরিয়ে যাচ্ছে। অন্য পাশ দিয়ে বাইরের ঠাণ্ডা ভারি বায়ু চিমনিতে ঢুকছে। ফলে অক্সিজেনের কোন অভাব ঘটছে না, বাতি জ্বলছে।

এক টুকরো ধূমায়মান কাগজ চিমনির মুখে ধর। ধুঁয়ার গতিপথ বায়ু-স্রোতের পথ নির্দেশ করছে।

পরীক্ষা ঃ একটা মোমবাতি জ্বালো (চিত্র 62)। দেখ, মোমবাতির শিখা সর্বদাই ঊর্ধ্বমুখী। কেন? এর কারণও বায়ুর পরিচলন স্রোত। উক্ত বায়ুস্রোত উপরের দিকে ওঠে এবং মোমবাতির শিখাকে ঊর্ধ্বমুখী করে দেয়।

চিত্র 62

9.10 পরিচলনের প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত (Examples of convection current in nature)

বায়ুস্রোত পরিচলনের এক সুন্দর প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত। দিনের বেলায় সূর্যের প্রচণ্ড তাপে ভূ-পৃষ্ঠ গরম হয়ে ওঠে,

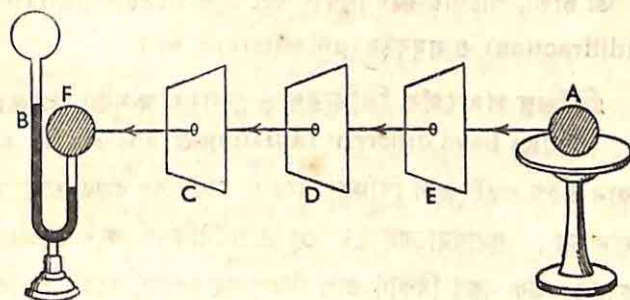
সেই সঙ্গে ভূ-সংলগ্ন বায়ুও গরম হয়। গরম বায়ু শূন্য স্থান পূরণের জন্য ছুটে আসে। এভাবে বায়ু প্রবাহের সৃষ্টি হয়। যেমন **সমুদ্র বায়ু** (Sea breeze), **স্থলবায়ু** (Land breeze) ইত্যাদি।

দিনে স্থলভাগ জলভাগের চেয়ে বেশি উত্তপ্ত হয়। স্থলভাগ-সংলগ্ন বায়ু গরম হয়ে উপরে উঠে গেলে জলভাগের ঠাণ্ডা বায়ু স্থলের দিকে প্রবাহিত হতে শুরু করে। এর নাম **স্থলবায়ু**। রাত্রে অবস্থা ঠিক বিপরীত। স্থলভাগ তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হয়ে আসে; কিন্তু জলভাগ অত তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হতে পারে না বলে অপেক্ষাকৃত গরম থাকে। তখন স্থলভাগের ঠাণ্ডা বায়ু জলের দিকে প্রবাহিত হয়। এর নাম **সমুদ্র বায়ু**। স্থলবায়ু, সমুদ্রবায়ু ছাড়া আরও নানা ধরনের নিয়ত ও ঋতুবিশেষের বায়ু প্রবাহ রয়েছে। সকলের মূলেই **পরিচলন**।

9.11 বিকীর্ণ তাপের ধর্ম (Properties of radiant heat)

বিকিরণ পদ্ধতিতে সঞ্চালিত তাপকে **বিকীর্ণ তাপ** (radiant heat) বা **বিকীর্ণ শক্তি** (radiant energy) বলে। আলো ও বিকীর্ণ তাপ সমধর্মাবলম্বী।

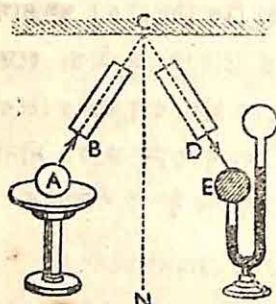
(a) বিকীর্ণ তাপ ও আলোক উভয়েই **শূন্য মাধ্যমে একই বেগে চলে**। সূর্যোদয়ের সঙ্গে সঙ্গে আলো ও বিকীর্ণ তাপ এক সঙ্গে পৃথিবীতে পৌঁছয় এবং সূর্যের পূর্ণগ্রহণের সময় একই সঙ্গে আলো ও তাপ বন্ধ হয়ে যায়।

(b) আলোক রশ্মির ন্যায় **বিকীর্ণ তাপ সরলরেখায় চলে।** তাপ ও আলোক উৎসের সামনে পর্দা ধরলে তাপ ও আলো দুই-ই বন্ধ হয়। বিকীর্ণ তাপের সরলরেখায় গমন নিম্নোক্ত পরীক্ষায় সরাসরি প্রমাণ করা যায়।

চিত্র 63

C, D, E তিনটি টিনের পর্দা। প্রত্যেকটির ঠিক মাঝখানে একটি করে ফুটো। পর্দাগুলোকে এমনভাবে রাখা হল যে, ছিদ্রগুলো একই সরলরেখায় থাকে। C-র পিছনে থাকে একটি ঈথার থার্মোস্কোপ যন্ত্র F—এই যন্ত্রে বিকীর্ণ

তাপ ধরা পড়ে ; আর E-র সামনে থাকে বিকীর্ণ তাপের উৎস—একটি লোহিত তপ্ত বল A ; A থেকে বিকীর্ণ তাপ তখনই F-এ ধরা পড়ে যখন C, D, E এক সরলরেখায় থাকে—পর্দা একটু এপাশ-ওপাশ করলে পড়ে না।

(c) আলোকরশ্মির ন্যায় **বিকীর্ণ তাপের প্রতিফলন হয়।**

পরীক্ষা : C একটি চকচকে টিনের প্রতিফলক। B ও D দুটি নল আনতভাবে অনুভূমিক অবস্থায় প্রতিফলকের সামনে রাখা আছে। A একটি লোহিত তপ্ত ধাতব গোলক, E হল ঈথার থার্মোস্কোপ। A থেকে E-র দিকে সরাসরি তাপরশ্মির আটকানোর জন্য N একটি কাঠের পর্দা। B-কে স্থির রেখে D-নলকে ঘোরাও যতক্ষণ না E-তে তাপরশ্মি ধরা পড়ে। এ অবস্থায় মেপে দেখ আপতন কোণ ∠ACN = প্রতিফলন কোণ ∠ECN ; CN হল C বিন্দুতে প্রতিফলকের উপর অভিলম্ব।

চিত্র 64

(d) আলোকের ন্যায় বিকীর্ণ তাপেরও প্রতিসরণ ঘটে এবং উভয়েই প্রতিসরণের ক্ষেত্রে একই সূত্র মেনে চলে। আলোর ন্যায় বিকীর্ণ তাপকে লেন্সে কেন্দ্রীভূত করা যায়।

(e) আলোর প্রাবল্য (intensity) দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। পরীক্ষায় প্রমাণিত হয়েছে যে, বিকীর্ণ তাপের ক্ষেত্রেও তা-ই হয়।

(f) তা ছাড়া, আলোর ন্যায় বিকীর্ণ তাপেরও ব্যতিচার (interference) অপবর্তন (diffraction) ও সমবর্তন (polarisation) হয়।

9.12 বিভিন্ন পদার্থের বিকিরণ ও শোষণ ক্ষমতা বিভিন্ন
(Bodies have different radiating & absorbtive ability)

যে কোন উত্তপ্ত বস্তুই তাপ বিকিরণ করে। তবে সব বস্তুর তাপ বিকিরণ ক্ষমতা সমান নয়। পদার্থমাত্রেই যে শুধু তাপ-বিকিরণ করে তা নয়, তাপ শোষণও করে। উষ্ণ বস্তুর বিকীর্ণ তাপ শীতল বস্তু শোষণ করে। পদার্থমাত্রেই যুগপৎ বিকিরক ও শোষক। কিন্তু যে হারে তাপ বিকীর্ণ হয় এবং যে হারে শোষিত হয় তা নির্ভর করে বস্তুর উপরিতলের প্রকৃতির উপর। কালো রঙের বস্তু অন্য রঙের তুলনায় বেশি তাপ বিকিরণ করে বা বেশি তাপ শোষণ করে। মসৃণ তল তাপের ভাল প্রতিফলক, কিন্তু তাপের ভাল বিকিরক বা

শোষক নয়। তেমনি সাদা বস্তু ভাল প্রতিফলক, কিন্তু খারাপ বিকিরক বা শোষক। যে পদার্থ উত্তম বিকিরক তা উত্তম শোষকও বটে।

পরীক্ষা : দুটি থার্মোমিটার নাও। একটির বালবে ভুসাকালি মাখাও, অন্যটিতে সাদারঙের প্রলেপ দাও। এবারে থার্মোমিটার দুটি বাইরে রোদে ঝুলিয়ে রাখ। দেখ ভুসা মাখানো বালবের থার্মোমিটারে পারদ বেশি পাঠ দেখাচ্ছে। তুলনায় সাদা বালবের থার্মোমিটারের পাঠ কম। কাজেই প্রমাণ হল : **কালো বস্তু বেশি তাপ শোষণ করে।**

থার্মোমিটার দুটি রোদ থেকে সরিয়ে ঠাণ্ডা জায়গায় ঝুলিয়ে রাখ। দেখ, ভুসা মাখানো থার্মোমিটারে পারদ অন্য থার্মোমিটারের তুলনায় দ্রুত নেমে গেল। প্রমাণ হল : **কালো বস্তু দ্রুত তাপ বিকিরণ করে।**

দুটি তথ্য একত্র জুড়ে বলা যায় : **যে পদার্থ উত্তম বিকিরক তা উত্তম শোষক।**

বিষয়টি আরও বিশদ আলোচনা করা যাক।

বিকিরণ ক্ষমতা (Emissive or radiating power)

পরীক্ষায় একথা প্রমাণ করা যায় যে, কোন উত্তপ্ত পৃষ্ঠ কর্তৃক বিকীর্ণ তাপ শক্তি R, নিম্নোক্ত বিষয়গুলোর উপর নির্ভর করে :

(i) পৃষ্ঠের উষ্ণতা θ_1 (ii) পারিপার্শ্বিকের উষ্ণতা θ_2 (iii) পৃষ্ঠের প্রকৃতি ও ক্ষেত্রফল A এবং (iv) বিকিরণে ব্যয়িত সময় t; গাণিতিক ভাষায়—

$$R \propto A(\theta_1 - \theta_2)t$$

$$\text{বা } R = eA(\theta_1 - \theta_2)t \qquad \cdots \qquad (1)$$

e একটি ধ্রুবক। এই ধ্রুবককে ঐ পৃষ্ঠের **বিকিরণ ক্ষমতা** বলে।

স্পষ্টত, উষ্ণতা এক হলেও পৃষ্ঠের প্রকার ভেদে বিকিরণ ক্ষমতাও ভিন্ন হয়।

আগেই বলা হয়েছে, কৃষ্ণপৃষ্ঠ বিকিরক হিসাবে সবচেয়ে ভাল এবং চকচকে পৃষ্ঠ সবচেয়ে খারাপ। কৃষ্ণপৃষ্ঠের বিকিরণ ক্ষমতা 100% ধরলে, সাদা পৃষ্ঠ প্রায় 87%, অমসৃণ পৃষ্ঠ প্রায় 78%, এবং চকচকে পৃষ্ঠ প্রায় 48%।

সংজ্ঞা : কোন নির্দিষ্ট সময়ে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন পৃষ্ঠ যে পরিমাণ তাপ বিকীর্ণ করে, আর ঐ সময়ে ঐ উষ্ণতায় একই ক্ষেত্রফলের কোন সম্পূর্ণ কৃষ্ণপৃষ্ঠ যে পরিমাণ তাপ বিকীর্ণ করে তার অনুপাতকে প্রথম পৃষ্ঠের **বিকিরণ ক্ষমতা** বলে।

শোষণ ক্ষমতা (Absorptive power)

বিকীর্ণ তাপ কোন পৃষ্ঠের উপর আপতিত হলে তা নিম্নোক্ত তিনটি অংশে বিভক্ত হয় ;

(i) এক অংশ প্রতিফলিত হয়—ধর, বিকীর্ণ তাপের r ভগ্নাংশ

(ii) দ্বিতীয় অংশ শোষিত হয়—ধর, বিকীর্ণ তাপের a ভগ্নাংশ

(iii) বাকী তৃতীয় অংশ পৃষ্ঠপথে সংবাহিত হয়—ধর, t ভগ্নাংশ

$$\therefore \quad r+a+t=1$$

যদি $r=0$ হয়, তবে $a=1$; এটি **আদর্শ কৃষ্ণবস্তু** (perfectly black body)-র ক্ষেত্রে হয়। আদর্শ কৃষ্ণবস্তু এমন এক বস্তু যার উপর বিকীর্ণ তাপ পড়লে তা সম্পূর্ণ শোষিত হয়—কোন অংশই প্রতিফলিত বা সংবাহিত হয় না।

আদর্শ কৃষ্ণবস্তুর উদাহরণ হিসাবে ভুসা কালিকে ধরা চলে, এর $a = \cdot 98\%$ বিভিন্ন পৃষ্ঠের বিকিরণ ক্ষমতা যেমন বিভিন্ন, শোষণ ক্ষমতাও তাই।

সংজ্ঞা : কোন পৃষ্ঠ নির্দিষ্ট সময়ে যে পরিমাণ বিকীর্ণ তাপ শোষণ করে এবং ঐ পৃষ্ঠে ঐ সময়ে যে পরিমাণ বিকীর্ণ তাপ আপতিত হয় তার **অনুপাতকে** ঐ পৃষ্ঠের **শোষণ ক্ষমতা** বলে। **অথবা,**

কোন পৃষ্ঠে নির্দিষ্ট সময়ে যে পরিমাণ বিকীর্ণ তাপ শোষিত হয় আর ঐ সময়ে একই ক্ষেত্রফলের ভুসাকালি মাখা পৃষ্ঠ অনুরূপ পরিবেশে যে পরিমাণ বিকীর্ণ তাপ শোষণ করে তার অনুপাতকে প্রথম পৃষ্ঠের **শোষণ ক্ষমতা** বলে।

বিকিরণ সম্পর্কে আগে ধারণা খুব স্বচ্ছ ছিল না। এজন্য মনে করা হত যে, উত্তপ্ত না হলে বস্তু তাপ বিকিরণ করে না। এই ভুল ধারণার প্রথম অবসান ঘটান বিজ্ঞানী প্রিভোস্ট। তিনি বলেন : সকল বস্তু সকল উষ্ণতাতেই তাপ বিকীর্ণ করে এবং বিকিরণের পরিমাণ উষ্ণতার সঙ্গে বৃদ্ধি পায়। আবার, সকল বস্তুই সকল উষ্ণতাতেই তাপ শোষণ করে। কাজেই বিভিন্ন উষ্ণতার বিভিন্ন বস্তুর মধ্যে ক্রমাগত তাপের আদান-প্রদান ঘটছে। বস্তু কর্তৃক বিকীর্ণ তাপ পারিপার্শ্বিক থেকে শোষিত তাপের চেয়ে বেশি হলে বস্তু ঠাণ্ডা হয়, কম হলে গরম হয়, এবং সমান হলে উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকে। একে বলে **বিনিময় মতবাদ** (theory of exchange)। যখন উষ্ণতা পারিপার্শ্বিকের সমান হয় তখন উভয়ে গতীয় সাম্যে (**dynamic equilibrium**) আসে। অর্থাৎ তখনও বিকিরণ ও শোষণ চলতে থাকে।

কির্স ফের সূত্র (Kirchhoff's law) : বিনিময় মতবাদ থেকে সহজেই দেখানো যায় যে, কোন বস্তুর বিকিরণ ক্ষমতা ও শোষণ ক্ষমতার অনুপাত একটি ধ্রুবক। এই হল **কির্স ফের সূত্র**। অর্থাৎ $e/a=E$।

এ থেকে স্পষ্টত e বাড়লে a বাড়বে এবং e কমলে, a-ও কমবে। অর্থাৎ **উত্তম বিকিরক, উত্তম শোষক**। এর সত্যতা পরীক্ষায় আগেই দেখানো হয়েছে।

9.13 স্টীফানের সূত্র (Stefan's law)

কির্সফ সূত্র থেকে স্পষ্টই বোঝা যায় যে, আদর্শ কৃষ্ণবস্তুই সর্বোৎকৃষ্ট বিকিরক। কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় আদর্শ কৃষ্ণবস্তু অন্য যে কোন বস্তু অপেক্ষা বেশি বিকিরণ নিঃসরণ করে। কিন্তু তার পরিমাণ কত ?

কোন কৃষ্ণবস্তুর একক ক্ষেত্রফল কর্তৃক সেকেণ্ডে যে পরিমাণ বিকিরণ নিঃসৃত হয় তা ঐ কৃষ্ণবস্তুর পরম উষ্ণতার চতুর্থ ঘাতের সমানুপাতী।

অর্থাৎ $E \propto T^4$

বা $E=\sigma T^4$

এখানে σ একটি ধ্রুব সংখ্যা। একে **স্টিফানের ধ্রুবক** (Stefan Constant) বলে। পরীক্ষালব্ধ তথ্য থেকে স্টীফান এই সূত্রটি দেন।

কিন্তু পারিপার্শ্বিকের সঙ্গে তাপ বিনিময় ঘটলে স্টীফানের সূত্রের রূপ পরিবর্তিত হবে।

T_1 পরম উষ্ণতায় কৃষ্ণবস্তু যেমন তাপ বিকিরণ করে তেমনি T_2 পরম উষ্ণতায় পরিপার্শ্ব থেকে কৃষ্ণবস্তু তাপ গ্রহণও করে। বিনিময় মতবাদ অনুসারে ঐ কৃষ্ণবস্তু নীট যে হারে তাপ নিঃসরণ করবে তা বস্তুর তাপ গ্রহণ ও তাপ বর্জন হারের পার্থক্য। অর্থাৎ

$$E=\sigma_1(T_1{}^4-T_2{}^4)$$

σ-র স্বীকৃত বর্তমান মান : $\sigma=5.669\times10^{-5}$ আর্গ সেমি$^{-2}$সে.$^{-1}$ $^\circ K^{-4}$

স্টীফান সূত্রের প্রয়োগ– কোন বস্তু থেকে মোট নিঃসারিত বিকিরণ মেপে এই সূত্রের সাহায্যে বস্তুর উষ্ণতা জানা যায়। **পূর্ণ বিকিরণ পাইরোমিটার** (Total radiation pyrometer) যন্ত্রটির ভিত্তি স্টীফান সূত্র। উচ্চ উষ্ণতা (ফার্নেসের, সূর্যের ইত্যাদি) মাপতে যন্ত্রটি ব্যবহৃত হয়, তবে যন্ত্রটিকে উষ্ণ বস্তুর স্পর্শেও আনতে হয় না বা ঐ উষ্ণতায় উঠাতেও হয় না।

9.14 বিকিরণ ক্ষমতার ভিন্নতায় কিছু ঘটনার ব্যাখ্যা
(Phenomena explained by differences in emissive power)

1. দিনের বেলায় যে গরম লাগে এবং রাত্রে ঠাণ্ডা বোধ হয় তা তাপ বিকিরণের ফল। বড় পাহাড়ের সানুদেশে বা বড় বাড়ীর পাশে যে তাপ অনুভূত হয় তা-ও তাপ বিকিরণের ফলে হয়ে থাকে।

2. শীতকালে কালো রঙের এবং গ্রীষ্মে সাদা রঙের জামা গায়ে দেওয়া আরামপ্রদ। কেননা, কালো জামা উত্তম শোষক, সূর্যের বিকীর্ণ তাপ শোষণ করে দেহকে গরম রাখে। সাদা রঙ ভাল প্রতিফলক, সূর্যরশ্মি খুব অল্পই শোষণ করে ; ফলে দেহ গরম থাকে।

3. কাপ-ডিস সাধারণত সাদা রঙের হয়। কেননা, অন্য রঙের তুলনায় সাদা রঙের তাপ শোষণ বা বিকিরণ করার ক্ষমতা অনেক কম। কাজেই সাদা কাপ-ডিসে গরম চা ঢাললে তাপ বিকিরিত হয়ে সহজে ঠাণ্ডা হয় না।

4. গ্রামাঞ্চলে হাঁড়ির তলদেশে মাটি লেপে অমসৃণ ও ভুসা লাগিয়ে কালো ক'রে রন্ধনাদি করা হয়। কোন পাত্রের তলদেশ অমসৃণ ও কালো হলে ভালভাবে জ্বালানির তাপ শোষিত হয় এবং অল্প সময়ে ব্যঞ্জন ফুটতে শুরু করে। এতে সময় ও জ্বালানি খরচ দুই-ই কমে।

9.15 থার্মোফ্লাস্ক (Thermosflask)

পরিবহণ, পরিচলন ও বিকিরণ এই তিনটি পদ্ধতিতে তাপ সঞ্চালিত হয়। কাজেই যদি এমন অবস্থা করা যায় যে, ঐ পদ্ধতির সবগুলো নিরুদ্ধ, তা হলে ঐ ব্যবস্থায় গরম জিনিস সর্বদা গরম থাকবে, ঠাণ্ডা বস্তু সর্বদা ঠাণ্ডা থাকবে। **থার্মোফ্লাস্ক** এই রকম একটা ব্যবস্থা। আবিষ্কারকের নামানুসারে একে **ডিওয়ার ফ্লাস্কও** (Dewar flask) বলে। এর মধ্যে কোন গরম জিনিস রাখলে অনেকক্ষণ গরম থাকে এবং ঠাণ্ডা জিনিস রাখলে অনেকক্ষণ ঠাণ্ডা থাকে। গরম চা-কফি, দুধ, ঠাণ্ডা আইসক্রিম ইত্যাদি এতে রাখা হয়।

গঠন : এটি একটি দুই দেওয়ালযুক্ত (double walled) কাচের পাত্র (চিত্র 65)। দুই দেওয়ালের মধ্যবর্তী অঞ্চল প্রায় সম্পূর্ণরূপে বায়ুশূন্য (vacuated) করা হয়। ভিতরের দেওয়ালের বাইরের দিক ও বাইরের দেওয়ালের ভিতরের দিক পারার প্রলেপ (silvering) দেওয়া থাকে এবং পালিশ করা হয়। তাই দেখতে খুব চকচকে হয়।

ফ্লাস্কের মুখের দিকটা সরু এবং মুখে একটি কর্কের ছিপি লাগানো থাকে। আধারটি কাচের বলে স্বভাবত ভঙ্গুর। তাই এটি একটি ধাতব পাত্রে স্প্রিং-এর উপর সুরক্ষিত অবস্থায় বসানো থাকে। ধাতবপাত্র ও ফ্লাস্কটির মধ্যে প্যাডের আকারে কুপরিবাহী নরম জিনিস ভরে দেওয়া হয়। ফলে বাইরের আঘাতে ফ্লাস্কটি সহজে ভাঙ্গে না।

ছিপি
দুই দেয়াল বিশিষ্ট কাচের পাত্র
ফেল্ট
রৌপ্যমণ্ডিত মসৃণ তল
বাহিরের আবরণ
বায়ুশূন্যস্থান
স্প্রিং

চিত্র 65

কার্য প্রণালী : কাচ তাপের কুপরিবাহী। ফলে পরিবহণ পদ্ধতিতে বাইরের সঙ্গে ফ্লাস্কের ভিতরের তাপীয় আদান-প্রদান ঘটতে পারে না। মুখে অপরিবাহী কর্ক থাকায় ও সমস্ত ফ্লাস্কটি কুপরিবাহী বস্তুভরা ধাতুপাত্রে বসানোর ফলে পরিবহণে তাপ বিনিময় বাধা পায়।

দুই দেওয়ালের মধ্যবর্তী অঞ্চলটি বায়ুশূন্য বলে পরিচলন পদ্ধতিতেও তাপের সঞ্চালন নিরুদ্ধ।

আবার, দুই দেওয়ালের মসৃণ, চকচকে ও পারার প্রলেপযুক্ত হওয়ায় বাইরের বিকিরিত তাপ বাইরে এবং ভিতরের বিকিরিত তাপ ভিতরেই প্রতিফলিত হয়। কাজেই ভিতরের ও বাইরের বিকীর্ণ তাপের মধ্যে কোন সংযোগ ঘটে না। ফলে বিকিরণ পদ্ধতিতেও তাপ সঞ্চালন বন্ধ।

তাপ সঞ্চালনের সব প্রক্রিয়া বন্ধ থাকায় ভিতরের গরম বস্তু গরম ও ঠাণ্ডা বস্তু ঠাণ্ডাই থাকে।

অবশ্য, ব্যবস্থাগুলোর কোনটিই একেবারে নিখুঁত নয়। ফলে অনির্দিষ্টকাল ধরে ভিতরের জিনিস একই উষ্ণতায় থাকে না।

9.15 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. 1 সেমি পুরু একটি বড় তামার চাকতির এক পৃষ্ঠের উষ্ণতা 100°C; প্রবহমান জলের সাহায্যে অপর পৃষ্ঠের উষ্ণতা 10°C রাখা হল। চাকতির প্রতি বর্গ সেমি. থেকে সেকেণ্ডে কত তাপ জলে পরিবাহিত হল? তামার $K = 0.91$ সি. জি. এস

এখানে $A=1$ বর্গ সেমি ; $t_2-t_1=100-10=90°C$; $t=1$ সে ; $L=1$ সেমি ; $K=0.91$

$$\therefore \quad Q=\frac{0.91\times1\times90\times1}{1}=8.19 \text{ ক্যালরি}$$

উদা. 2. লোহার একটি বয়লার 1.25 সেমি. পুরু এবং ওতে বায়ুচাপে জল আছে। বয়লারের উষ্ণ পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল 2.5 বর্গ মিটার এবং নিম্নদিকের উষ্ণতা 120°C ; লোহার $K=0.2$ এবং জলের বাষ্পীভবনের লীন তাপ 536 ক্যালরি হলে ঘণ্টায় কত জল বাষ্পীভূত হবে ?

এখানে $A=2.5\times100\times100$ বর্গ সেমি ; $K=0.2$; $L=1.25$ সেমি

$t_2-t_1=120-100=20°C$; $t=60\times60$ সে.

$$\therefore \quad Q=\frac{0.2\times2.5\times10^4\times20\times60\times60}{1.25}=288\times10^4 \text{ ক্যালরি}$$

$$\therefore \quad \text{বাষ্পীভূত জলের পরিমাণ} =\frac{288\times10^6}{536} \text{ গ্রাম} =537 \text{ কেজি}$$

উদা 3. একটি আইস-বক্স 1.75 সেমি. পুরু কাঠে তৈরি। ভিতরে 3 সেমি পুরু কর্কের লাইনিং ; কর্কের ভিতরের পৃষ্ঠের উষ্ণতা 12°C ; উভয়ের সংযোগতলের (interface) উষ্ণতা কত ? কাঠের $K=0.00060$ এবং কর্কের $K=0.000012$

(কলিঃ বি. এস. সি. 1946)

এখানে $x_1=1.25$ সেমি ; $a_2=3$ সেমি. $\theta_1=0°C$, $\theta_2=12°C$ $K_1=60\times10^{-5}$; $K_2=12\times10^{-5}$. ধর, সংযোগতলের উষ্ণতা $\theta°C$

$$\theta=\frac{K_1\theta_2x_2+K_2\theta_1x_1}{K_2x_1+K_1x_2}=\frac{60\times10^{-5}\times12\times3+0}{12\times10^{-5}\times1.75+60\times10^{-5}\times3}$$

$$=1075°C$$

উদা. 4. সূর্য পৃষ্ঠের প্রতি বর্গ সেমি থেকে নিঃসারিত তাপের পরিমাণ কত ? সূর্যের উষ্ণতা $=5500°C$, স্টীফান ধ্রুবক $=5.7\times10^{-5}$ এবং পারিপার্শ্বিকের উষ্ণতা 0°K.

নিঃসারিত তাপ/সেমি^{2} $=5{\cdot}7\times10^{-5}\times5773^4$ আর্গ

$=5{\cdot}7\times10^{-5}\times5773^4/4{\cdot}2\times10^7$ ক্যালরি

$=1{\cdot}5\times10^3$ ক্যালরি

উদা. 4. কোন হ্রদের জলের উপরের বায়ুর উষ্ণতা $-10°C$; জলাশয়ের উপরে 2 সেমি পুরু বরফ জমতে কত সময় লাগবে ? বরফের $K = 0.0052$, $\rho = 0.918$ এবং লীন তাপ $= 80$ (কলিঃ অনার্স)

সূত্র থেকে : $t = \dfrac{80 \times 0.917}{0.0052 \times 10} \times 4 = 2821$ সে.

অনুশীলনী

1. তাপ সঞ্চালনের ক'টি পদ্ধতি আছে ? সেগুলি কি কি ? উদাহরণসহ পদ্ধতিগুলি ব্যাখ্যা কর।

2. সুপরিবাহী ও কুপরিবাহী বলতে কি বোঝ ? উদাহরণ দাও।

3. তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতিগুলোর তুলনা কর।

4. পরিবাহিতাঙ্ক কি ? তামার পরিবাহিতাঙ্ক 0.92 - এ কথার অর্থ কি ?

5. পরিবাহিতাঙ্কের সি জি. এস. একক বলতে কি বোঝ ?

6. তাপীয় রোধ বিষয়টি ব্যাখ্যা কর। এই রোধ ও বৈদ্যুতিক রোধে সাদৃশ্য কোথায় ? রোধাঙ্ক ও পরিবাহিতাঙ্কে কি সম্পর্ক ?

7. তুল্য পরিবাহিতাঙ্ক কি ? দেখাও যে, k_1, k_2, ··· ইত্যাদি পরিবাহিতাঙ্কের ও x_1, x_2, ··· বেধযুক্ত কয়েকটি পরস্পর সংযুক্ত ব্লকের ক্ষেত্রে $\Sigma x_n/k = \Sigma x_n/\Sigma k_n$, $k =$ তুল্য পরিবাহিতাঙ্ক।

8. পরিবাহিতাঙ্কের তুলনার জন্য ইনজেনহউসের পরীক্ষাটি বর্ণনা কর।

9. একটি থার্মোফ্লাস্কের সচিত্র বিবরণ দাও ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

10. বিকিরণ ক্ষমতা ও শোষণ ক্ষমতা বলতে কি বোঝ ? দেখাও যে, বিভিন্ন বস্তুর তাপ বিকিরণ ক্ষমতা বিভিন্ন।

11. পরিবহণ ও পরিচলন প্রক্রিয়া প্রদর্শনের জন্য কয়েকটি সহজ পরীক্ষার উল্লেখ কর।

12. বৈজ্ঞানিক ব্যাখ্যা দাও :

(i) কেতলির হাতলে বেত জড়ানো থাকে। (ii) পাতলা কাগজের পাত্রে জল ফোটানো যায়। (iii) কাঠের গুঁড়োয় বরফ রাখা হয়। (iv) চা-এর কাপ-ডিস সাদা রঙের হয়। (v) গ্রীষ্মে সাদা সুতীর ও শীতে পশমের পোষাক আরামদায়ক।

13. নিম্নলিখিতগুলোর কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখাও :

(i) পরিবহণ (ii) পরিচলন (iii) বিকিরণ

14. দেখাও যে, আলোর ধর্ম ও বিকীর্ণ তাপের ধর্ম একই।

15. কির্শফ সূত্র ও স্টিফানের সূত্র ব্যাখ্যা কর। স্টিফান ধ্রুবক কি? এর মান কত?

16. একটি ধাতব প্লেটপথে প্রতি সেকেণ্ডে 3000 ক্যালরি তাপ প্রবাহ বজায় রাখতে প্লেটের দুই পিঠের উষ্ণতার প্রভেদ কত হওয়া প্রয়োজন? প্লেটের ক্ষেত্রফল = 60 বর্গ সেমি, বেধ = 0·5 সেমি এবং উপাদানের $K = 1{\cdot}53$ সি. জি. এস (কলিঃ বি. এস্. সি, 1964) [16·34°C]

17. একটি কেতলির দেওয়াল 1 মিমি পুরু এবং মোট ক্ষেত্রফল 1000 বর্গ সেমি ; কেতলিটি 100°C উষ্ণতার জলে ভর্তি করা হল এবং স্টীমের সাহায্যে ঐ উষ্ণতা বজায় রাখা হল। কেতলিটি গলন্ত বরফে ঘিরে রাখায় দেখা গেল যে, 1 মিনিটে 80 কেজি বরফ গলেছে। কেতলির উপাদানের K কত? বরফের লীন তাপ = 80 ক্যা/গ্রা. [0·10 সি. জি এস]

18 একটি ধাতুদণ্ডের পরিবাহিতাঙ্ক 0·9 ; দণ্ডটি 31.41 সেমি লম্বা এবং 4 সেমি ব্যাসযুক্ত। দণ্ডের একপ্রান্ত 100°C স্টীমে রাখা, বিপরীত প্রান্ত 0°C উষ্ণ বরফ চাঙের সংস্পর্শে। স্থিতাবস্থায় মিনিটে কি পরিমাণ বরফ গলবে?

(কঃ বিঃ 1959) [27 গ্রাম]

19. একটি কাচের জানালার ভিতরের গাত্রের উষ্ণতা 59°F, বাইরের −5°C ; জানালার বেধ 2 মিমি, ক্ষেত্রফল 1 বর্গ মিটার। কাচের $K = 0{\cdot}002$ (সি.জি. এস) হলে ঘণ্টায় ঘর থেকে কত ক্যালরি তাপ বেরিয়ে যাচ্ছে?

(কঃ বিঃ 1958) [7.2×10^8]

20. 6 মিমি পুরু একটি লোহার বয়লারের ভিতরের গায়ে .2 মিমি পুরু একটি আস্তরণ পড়েছে। বাইরের উষ্ণতা 360°C এবং ভিতরের উষ্ণতা 120°C ; প্রতি সেকেণ্ডে কি পরিমাণ তাপ পৃষ্ঠতলের প্রতি বর্গ সেমি দিয়ে সঞ্চালিত হবে? লোহার $K = 0{\cdot}2$ এবং আস্তরণের $K = 0{\cdot}1$ [16 ক্যালরি]

21. কোন জলাশয়ের উপর 10 সেমি পুরু বরফ জমে আছে এবং উপরের বায়ুর উষ্ণতা −15°C ; বরফের গভীরতা 20 সেমি পুরু হতে কত সময় লাগবে? বরফের $K = 0{\cdot}004$, ঘনাঙ্ক = 0·92 এবং লীনতাপ = 80 ক্যা/গ্রা (কলিঃ অনার্স, 1953)

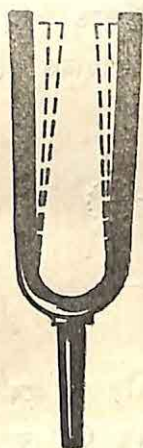
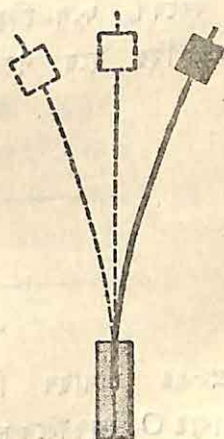
কম্পন ও তরঙ্গ
(Vibrations and Waves)

1
প্রথম অধ্যায়

দোলন
(Vibrations)

1. 1 দোলন ও তার বৈশিষ্ট্য (Oscillation and its characteristics)

যদি কোন গতিশীল বস্তু নির্দিষ্ট সময় পর পর একই স্থানে ফিরে আসে তবে তার গতিকে পর্যাবৃত্ত গতি (Periodic motion) বলে। সূর্যের চারপাশে পৃথিবীর গতি একটি পর্যাবৃত্ত গতি, কেননা একটি নির্দিষ্ট সময়ের শেষে অর্থাৎ এক বৎসর পর পর পৃথিবী তার কক্ষপথে একই বিন্দুতে ফিরে আসে। পর্যাবৃত্ত গতিতে গতির একটি পর্যায় সম্পন্ন করতে বস্তু যে সময় নেয় তাকে পর্যায়কাল (Time pericd) বলা হয়। পৃথিবীর বার্ষিক গতির পর্যায়কাল এক বৎসর বা 365 দিন।

পর্যাবৃত্ত গতিতে গতিশীল বস্তুর পথ বৃত্তাকার, উপবৃত্তাকার, সরলরেখা ইত্যাদি হতে পারে। একটি দোলকের গতি বা সুরশলাকার বাহু দুটির

চিত্র 1

চিত্র 2

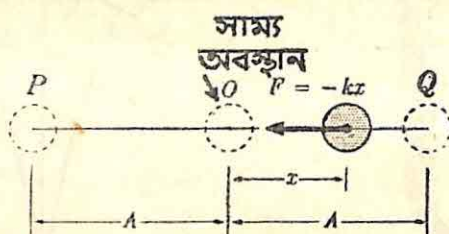
কম্পন পর্যাবৃত্ত গতি। একটি স্প্রিং বা রবারের সুতোয় কোন ভারি বস্তু বেঁধে ছেড়ে দিলে ঐ বস্তুটি অনেকক্ষণ ধরে ওঠানামা করে। লক্ষ্য করলে দেখা যায় যে, বস্তুটি নির্দিষ্ট সময় পর পর গতিপথের একই বিন্দুতে ফিরে আসে। বস্তুটির এই উপর-নিচ গতিও পর্যাবৃত্ত গতি। একটা ইস্পাতের স্কেলকে এক প্রান্তে আটকে উল্লম্ব অবস্থায় রাখ। অপর

প্রান্ত (এ প্রান্তে একটা ভার চাপিয়ে নিলে আরও ভাল হয়ঃ চিত্র 2) পাশে টেনে ছেড়ে দাও। দেখ স্কেলটি পর্যাবৃত্ত গতিতে পেণ্ডুলামের মতো এপাশ-ওপাশ দুলছে।

মসৃণ টেবিলের এক প্রান্তে কোন দৃঢ় অবলম্বনের সঙ্গে একটি স্প্রিং-এর এক প্রান্ত বেঁধে অন্য প্রান্তে একটি ছোট গোলক আটকাও। গোলকসহ স্প্রিংটি এমনভাবে চাপ দাও যেন গোলকটি O বিন্দু থেকে P বিন্দুতে সরে। এবার চাপ তুলে নাও। কি হবে? সঙ্কুচিত স্প্রিং স্থিতিস্থাপক ধর্মের দরুন প্রসারিত হয়ে পূর্বাবস্থা ফিরে পেতে চাইবে এবং গোলকটিকে P বিন্দু থেকে ঠেলে O বিন্দুর দিকে নিয়ে যাবে। P বিন্দু থেকে O বিন্দুতে ফিরতে গোলকটি তার উপর স্প্রিং-প্রদত্ত বলের দরুন কিছুটা বেগ অর্জন করবে। ফলে O বিন্দুতে পৌঁছে গোলকটি থামবে না, গতিজাড্যবশত ডানদিকে চলতে থাকবে। গোলক যত ডানদিকে যাবে স্প্রিং-এ তত প্রসারণ ঘটবে এবং স্থিতিস্থাপকতার দরুন স্প্রিং-এর মধ্যে এই প্রসারণের বিরুদ্ধে ক্রমবর্ধমান বাধা উৎপন্ন হবে। এই বাধা গোলকটির উপর মন্দন সৃষ্টি করবে। ফলে কিছু দূর, যেমন Q বিন্দুতে গিয়ে গোলকটি মুহূর্তের জন্য স্থির হয়ে পড়বে। কিন্তু এই অবস্থায়ও গোলকটির

সাম্য অবস্থান

P O $F = -kx$ Q

x A A

চিত্র 3

উপর স্প্রিং-এর প্রসারণ বিরোধী বল ক্রিয়াশীল থাকবে। ফলে গোলকটি আবার O বিন্দুর দিকে চলতে শুরু করবে। কিন্তু O বিন্দুতে এসে না থেমে O বিন্দুকে অতিক্রম করে আবার P অভিমুখে চলতে থাকবে। এভাবে P ও Q বিন্দুর মধ্যে গোলকটি পর্যাবৃত্ত গতিতে আসা-যাওয়া করবে।

কিন্তু বৃত্তাকার বা উপবৃত্তাকার পথে পর্যাবৃত্ত গতির সঙ্গে গোলকের এই পর্যাবৃত্ত গতির কিছু পার্থক্য সহজেই চোখে পড়ে। বৃত্তাকার পথে পর্যাবৃত্ত গতির ক্ষেত্রে বস্তু তার গতিপথ ধরে সর্বদা একই দিকে চলে। কিন্তু আলোচ্য গোলকটি O থেকে P-তে এসে গতির অভিমুখ পুরোপুরি উল্টে B

অভিমুখে চলতে থাকে এবং Q বিন্দুতে পৌঁছে গতির অভিমুখ আবার উল্টে নিয়ে P-এর দিকে চলে। যে পর্যাবৃত্ত গতিতে বস্তুকণার গতির অভিমুখ নির্দিষ্ট সময় পর পর এভাবে উল্টে যায় তাকে **দোলগতি** বা **দোলন** বলে।

এই আলোচনা থেকে কম্পন বা দোলনের **নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি** জানা যায়।

1. কম্পন বা দোলন **সরলরৈখিক পর্যাবৃত্ত** গতি।

2. দোলনাধীন বস্তু গতি পথের কোন **নির্দিষ্ট বিন্দুর সাপেক্ষে এপাশ-ওপাশ বা অগ্রপশ্চাৎ** যাতায়াত করে এবং পথের এক **প্রান্তবিন্দুতে পৌঁছে গতিমুখ উল্টে** নিয়ে আবার পথের বিপরীত প্রান্ত অভিমুখে চলতে থাকে।

1. 2 সরল দোলগতি (Simple harmonic motion)

যদি কোন বস্তু **সরলরৈখিক পথে** একটি নির্দিষ্ট **স্থির বিন্দুর সাপেক্ষে অগ্রপশ্চাৎ পর্যাবৃত্ত গতি** সম্পন্ন করে এবং যদি তার উপর এমন একটি **বল** ক্রিয়াশীল থাকে যার মান ঐ স্থিরবিন্দু থেকে বস্তুর **সরণের সমানুপাতী** ও **অভিমুখ সর্বদা ঐ স্থিরবিন্দুর** দিকে তবে বস্তুর গতিকে **সরল দোলগতি** বলা হয়। ক্রিয়াশীল বলের ফলেই বস্তুটি ঐ নির্দিষ্ট বিন্দুতে (সাম্যাবস্থা) বারবার ফিরে আসে।

1. 3 সরল দোলগতি প্রসঙ্গে কয়েকটি সংজ্ঞা (Some definitions relating to SHM)

পূর্ণ কম্পন (Complete vibration)—কোন বস্তুকণা এক বিন্দু থেকে যাত্রা করে পুনরায় একই অভিমুখে গতিশীল অবস্থায় ঐ বিন্দুতে ফিরে এলে তার একটি কম্পন সম্পূর্ণ হয়। এই কম্পনকে **পূর্ণ কম্পন** বলে। 3নং চিত্রে O থেকে P, P থেকে Q এবং Q থেকে আবার O-তে প্রত্যাবর্তন করলে একটি পূর্ণ কম্পন হয়।

কম্পনের বিস্তার (Amplitude of vibration)—কোন কম্পনশীল বস্তুকণা তার গতিপথের মধ্যবিন্দু (সাম্যাবস্থা) থেকে উভয়দিকে সর্বোচ্চ যতদূর যায় সেই দূরত্বকে **কম্পনের বিস্তার** বলে। বিস্তার মধ্যবিন্দু সাপেক্ষে কণার সর্বোচ্চ সরণ। চিত্র 3-এ $OP = OQ = A$ হল কম্পনের বিস্তার।

পর্যায়কাল বা দোলনকাল (Time period)—কোন কম্পনশীল বস্তুকণা একটি পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করতে যে সময় নেয় তাকে **পর্যায়কাল** বা **দোলনকাল** বলে। পর্যায়কাল T অক্ষর দ্বারা সূচিত হয়।

কম্পাঙ্ক (Frequency)—কোন কম্পনশীল বস্তুকণা প্রতি সেকেণ্ডে যত সংখ্যক পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে তাকে কম্পাঙ্ক বলে। কম্পাঙ্ক n অক্ষরে সূচিত করা হয়।

কম্পাঙ্ক ও পর্যায়কালের সম্পর্ক—ধর, কোন কম্পনশীল বস্তুর পর্যায়কাল T সেকেণ্ড। তা হলে, প্রতি সেকেণ্ডে তার পূর্ণ কম্পন সংখ্যা বা কম্পাঙ্ক হবে :

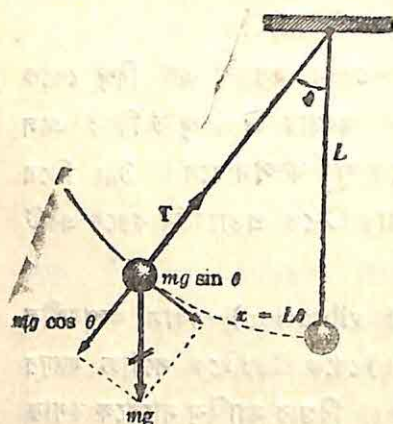
$$n=\frac{1}{T} \text{ বা } nT=1$$

দশা (Phase)—দশা বলতে কোন কম্পনশীল কণার তাৎক্ষণিক 'গতীয় অবস্থা' অর্থাৎ অবস্থান, বেগ, ত্বরণ ইত্যাদি বোঝায়।

বস্তুকণা শেষবার তার সাম্যাবস্থা অতিক্রম করার পর থেকে আলোচ্য মুহূর্ত পর্যন্ত অবকাশটুকু দোলনকালের যে ভগ্নাংশ তা দিয়ে কণার দশা মাপা চলে। অন্যভাবেও দশা পরিমাপ করা যায়।

প্রারম্ভিক দশা (Epoch)—কোন কম্পনশীল কণার দশা নির্দিষ্ট মধ্যবিন্দুর পরিবর্তে অন্য কোন বিন্দুর সাপেক্ষেও পরিমাপ করা চলে। সেক্ষেত্রে গতি আরম্ভ হওয়ার আগে মধ্যবিন্দুর সাপেক্ষে কণার যে দশা তাকে **প্রারম্ভিক দশা** বলে।

1. 4 সরল দোলগতির কয়েকটি উদাহরণ (Examples of simple harmonic motion)

(a) **সরল দোলক**—ধর, একটি দোলককে স্থির অবস্থান থেকে টেনে এমন বিন্দুতে রাখা হয়েছে যে, অবলম্বন বিন্দুগামী উল্লম্ব রেখার সঙ্গে দোলকের সুতো θ কোণ উৎপন্ন করে। পিণ্ডের ওজন mg-কে দোলক-সূত্র বরাবর এবং তার সমকোণে বিভক্ত কর।

দোলক-সূত্র বরাবর বিভক্ত উপাংশ $mg \cos \theta$ সুতোর টান T-এর সমান ও বিপরীতমুখী হয়ে সাম্য রক্ষা করে। কিন্তু সমকৌণিক উপাংশ $mg \sin \theta$-র বিপরীতে কোন বল না থাকায় পিণ্ডটি ছেড়ে দিলে এই $mg \sin \theta$ বলের দরুন দোলকের স্থির অবস্থানের দিকে চলতে শুরু করবে।

চিত্র 4

ধরা যাক দোলকের সুতোর দৈর্ঘ্য $=L$ এবং অবলম্বন বিন্দুগামী উল্লম্ব রেখা

থেকে θ-অবস্থানে পিণ্ডের লম্ব দূরত্ব$=x$. যদি θ-কোণটি খুব ছোট হয় তবে

$$\theta=\sin\theta=\frac{x}{L}$$

সুতরাং দোলক-পিণ্ডের উপর তার স্থির অবস্থান অভিমুখী বলের মান

$$F=mg\sin\theta=\frac{mgx}{L}$$

যেহেতু নির্দিষ্ট স্থানে এবং নির্দিষ্ট দোলকের জন্য m, g এবং l ধ্রুবক,

$$\therefore\ F\propto x$$

কিন্তু x হল স্থির বিন্দু থেকে পিণ্ডের তাৎক্ষণিক দূরত্ব বা সরণ।

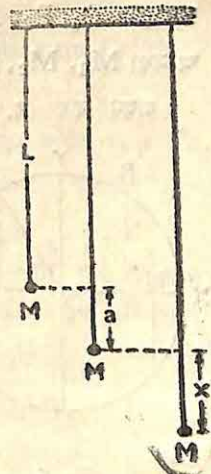
কাজেই পিণ্ডের উপর ক্রিয়াশীল বল স্থির অবস্থান থেকে পিণ্ডের সরণের সমানুপাতিক এবং তার অভিমুখ সর্বদা মধ্যবিন্দুর দিকে। সংজ্ঞানুসারে θ ছোট হলে (4°-র মধ্যে) দোলক-পিণ্ডের গতি সরল দোলগতি।

(b) **প্রান্তে ভারযুক্ত স্থিতিস্থাপক সুতোর কম্পন :** ধরা যাক L দৈর্ঘ্যের একটি স্থিতিস্থাপক সুতো এক প্রান্তে একটি দৃঢ় আলম্ববিন্দুতে আটকানো। অপর প্রান্তে M ভরের একটি বস্তু বাঁধা হল। ফলে সুতোর দৈর্ঘ্য a পরিমাণ বৃদ্ধি পাবে এবং বস্তুটি পূর্ব বিন্দু থেকে a নিচে একটি বিন্দুতে অবস্থান করবে। ভরটিকে এখন দ্বিতীয় অবস্থান থেকে অল্প দূরত্ব x পর্যন্ত টেনে ছেড়ে দেওয়া হল। বস্তুটির গতি কি রকম হবে দেখা যাক।

হুকের সূত্রানুসারে, স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে, পীড়ন বিকৃতির সমানুপাতী। সুতোর প্রস্থচ্ছেদ β ধরে নিলে বর্তমান ক্ষেত্রে

$$\frac{Mg}{\beta}\propto\frac{a}{L}$$

বা $$\frac{Mg}{\beta}=Y\frac{a}{L}\qquad (\ Y=\text{ইয়ং গুণাঙ্ক}\ )$$

$$\therefore\ mg=Y\frac{a\beta}{L}$$

চিত্র 5

দ্বিতীয় অবস্থান থেকে যখন ভরটিকে টেনে x নিচে আনা হল তখন বস্তুটির উপর ক্রিয়াশীল বলের পরিমাণ হবে $Y\dfrac{(a+x)}{L}\beta$। অর্থাৎ বস্তুটি যখন

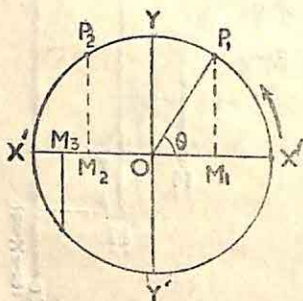
তৃতীয় বিন্দুতে অবস্থান করে তখন দ্বিতীয় বিন্দুর সাপেক্ষে তার উপর $Y\frac{(a+x)}{L} - Y\frac{a}{L}\beta = \frac{Y\beta}{L}x$ পরিমাণ বল ক্রিয়াশীল থাকে এবং এর অভিমুখ দ্বিতীয় বিন্দুর দিকে। যেহেতু Y, β ধ্রুবক সুতরাং এই বল x-এর সমানুপাতিক। কাজেই দ্বিতীয় বিন্দু অল্প দূরত্ব x পর্যন্ত টেনে ছেড়ে দিলে ভরটি সরল দোলগতিতে কম্পনশীল হবে।

1. 5 সমদ্রুতি বৃত্তীয় গতি ও সরল দোলগতির সম্পর্ক (Relation of SHM with uniform circular motion)

সরল দোলগতি সম্পর্কে পরিমাণগত ধারণা করার কাজে সমদ্রুতি বৃত্তীয় গতি বিশেষ সাহায্য করে।

ধরা যাক একটি বস্তুকণা X বিন্দু থেকে যাত্রা শুরু করে XYX′Y′ বৃত্তাকার পথে সমদ্রুতিতে আবর্তিত হচ্ছে। XOX′ ও YOY′ বৃত্তের দুটি আড়াআড়ি ব্যাস।

ধর, বস্তুটির কৌণিক বেগ $=\omega$ এবং X বিন্দু থেকে যাত্রা শুরুর t সময় পরে বস্তুটি P_1 বিন্দুতে পৌঁছয়। পরবর্তী সময়ে বস্তুটি P_2, P_3 ইত্যাদি বিন্দু ঘুরে আবার X বিন্দুতে ফিরে আসে। বৃত্তপথে বস্তুর বিভিন্ন অবস্থান P_1, P_2, P_3 ইত্যাদি থেকে XOX′ ব্যাসের উপর লম্ব ফেললে আমরা M_1, M_2, M_3 ইত্যাদি পাদবিন্দু পাই।

লক্ষ্য কর যে, বস্তুটির বৃত্তপথে আবর্তনকালে তার তাৎক্ষণিক অবস্থান থেকে XOX′ ব্যাসের উপর ফেলা লম্বের পাদ বিন্দু XOX′ ব্যাসের উপর O বিন্দুর সাপেক্ষে সেকেণ্ডে সমসংখ্যক বার অগ্রপশ্চাৎ গতি সম্পন্ন করছে। অর্থাৎ বৃত্তপথে বস্তুর তাৎক্ষণিক অবস্থান থেকে XOX′ ব্যাসের উপর লম্বের পাদবিন্দু সরল দোলগতিতে XOX′ ব্যাসের উপর এপাশ-ওপাশ করছে।

চিত্র 6

যদি বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ r হয় এবং বস্তুটির ভর ও রৈখিক বেগ যথাক্রমে m ও v হয়, তবে বস্তুটির উপর অভিকেন্দ্র বলের মান mv^2/r.

ধর, আবর্তনকালে কোন সময় বস্তুটি P_1 বিন্দুতে এসে পৌঁছল এবং

$\angle P_1OX=\theta$. তা হলে বস্তুটির উপর ক্রিয়াশীল অভিকেন্দ্র বলের যে উপাংশ XOX′-এর সমান্তরাল তার মান হবে

$$F=\frac{mv^2}{r}\cos\theta$$

$$=\frac{mv^2}{r}\cdot\frac{OM_1}{OP_1}=\frac{mv^2}{r^2}OM_1 \quad (\because \; OP_1=r)$$

অর্থাৎ $F \propto OM_1$ বা $F \propto x$

এখানে $x=OM_1=$ O বিন্দুর সাপেক্ষে পাদবিন্দুর সরণ।

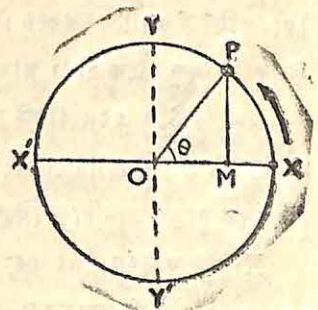
অতএব, পাদবিন্দুর উপর ক্রিয়াশীল তাৎক্ষণিক বল সরণের সমানুপাতিক।

অতএব, বৃত্তাকার পথে সমদ্রুতিতে আবর্তনশীল বস্তু থেকে বৃত্তের ব্যাসের উপর অঙ্কিত লম্বের পাদবিন্দুর গতি সরল দোলগতি।

এই কারণে, কোন সরলরেখার উপর একটি স্থিরবিন্দুর সাপেক্ষে যখন কোন বস্তু-কণা সরল দোলগতিতে চলাচল করে তখন ঐ সরলরেখাকে ব্যাস ধরে একটি বৃত্ত-পথে ঘূর্ণায়মান একটি কণা কল্পনা করা যায় যার আবর্তনাঙ্ক সরল দোলগতি কণার কম্পাঙ্কের সমান। ঐ বৃত্তকে সরল দোলগতি কণাটির **নির্দেশক বৃত্ত** (Reference circle) এবং ঘূর্ণায়মান কণাটিকে **নির্দেশক কণা** (Reference particle) বলে।

1. 6 সমীকরণের সাহায্যে সরল দোলগতির প্রকাশ (Mathematical representation of SHM)

একটি বস্তুকণা X বিন্দু থেকে যাত্রা করে XOX′ সরলরেখায় O বিন্দুর সাপেক্ষে সরল দোলগতিতে চলাচল করছে।

O বিন্দুকে কেন্দ্র করে OX ব্যাসার্ধ নিয়ে XYX′ Y′ বৃত্ত অঙ্কন কর। এটি আলোচ্য দোলগতি কণার নির্দেশক বৃত্ত। ঐ বৃত্তের উপর ঘূর্ণায়মান একটি নির্দেশক কণা P কল্পনা কর যা থেকে XOX′-এর উপর P-র অভিলম্বের পাদবিন্দু এবং সরল দোলগতি কণার অবস্থান সর্বদা একই স্থানে হবে।

যাত্রারম্ভের সময় সরল দোলগতি কণা এবং নির্দেশক কণা থেকে অভিলম্বের পাদবিন্দু উভয়েরই অবস্থান X বিন্দুতে। t সময় পরে সরল দোলগতি কণা M বিন্দুতে আসবে এবং নির্দেশক কণা P বিন্দুতে পৌছবে। PO এবং PM যুক্ত কর। স্পষ্টত PM রেখা XOX′ রেখার উপর লম্ব।

চিত্র 7

মনে কর সরল দোলগতি কণাটি সেকেণ্ডে n-সংখ্যক পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে এবং ω নির্দেশক কণার কৌণিক বেগ। সংজ্ঞানুসারে নির্দেশক কণাও সেকেণ্ডে n-সংখ্যক আবর্তন সম্পন্ন করে। কাজেই $\omega=2\pi n$.

এখন, $\angle POX$ = নির্দেশক কণা কর্তৃক t সেকেণ্ডে উৎপন্ন কোণ $=\theta=\omega t$ এবং $OM=OP\cos\theta=OP\cos\omega t$

কিন্তু OM হল মধ্যবিন্দু O থেকে সরল দোলগতি কণার তাৎক্ষণিক সরণ। OM-কে x দিয়ে সূচিত করা চলে। OP = বৃত্তের ব্যাসার্ধ = OX = a = বিস্তার।

$\therefore\ OM=x=OP\ \cos\omega t=a\cos 2\pi nt$

অর্থাৎ প্রান্তবিন্দু থেকে শুরু হওয়া দোলগতির ক্ষেত্রে মধ্যবিন্দু থেকে কণার তাৎক্ষণিক সরণ x নিম্নোক্ত সমীকরণে প্রকাশ করা যায়।

$$x=a\cos\omega t=a\cos 2\pi nt$$

এই সমীকরণটিকে **সরল দোলগতির সমীকরণ** বলা হয়।

প্রান্তবিন্দু থেকে আরম্ভ না হয়ে সরল দোলগতি যদি মধ্যবিন্দু থেকে আরম্ভ হয় তাহলে কণার তাৎক্ষণিক সরণ x স্পষ্টত নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশিত হবে :

$$x=a\sin\omega t$$
$$=a\sin 2\pi nt$$

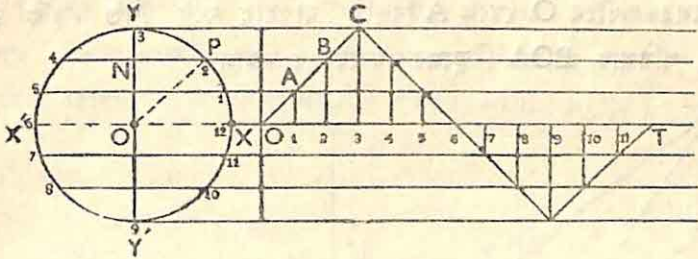
1. 7 লেখচিত্রের সাহায্যে সরল দোলগতির প্রকাশ (Graphical representation of SHM)

মনে কর, কোন বস্তুকণা মধ্যবিন্দু O থেকে যাত্রা আরম্ভ করে YOY′ রেখায় দোলগতিতে চলাচল করছে। তার নির্দেশক কণাটি প্রদর্শিত নির্দেশক বৃত্তের উপর X বিন্দু থেকে যাত্রা আরম্ভ করে বামাবর্তে ঘুরছে।

বৃত্ত পথটিকে এখন বারটি সমান চাপে বিভক্ত কর। প্রতিটি বিভাজন বিন্দু 0, 1, 2, 3⋯ইত্যাদি থেকে YOY′ রেখার উপর লম্ব অঙ্কন কর ও লম্বগুলিকে নির্দেশক বৃত্তের ডানদিকে কিছুদূর পর্যন্ত প্রসারিত কর।

X-অক্ষ বরাবর সময় এবং Y-অক্ষ বরাবর সরণ বসিয়ে একটি সরণ-সময় লেখ আঁক। X-অক্ষ রেখা থেকে OT অংশ কেটে তাকে বারটি সমান ভাগে বিভক্ত করে 1, 2, 3⋯12 সংখ্যা দ্বারা সূচিত কর। বিন্দুগুলি দিয়ে X-অক্ষ রেখার উপর লম্ব টানলে এই লম্বগুলি YOY′ রেখার উপর অঙ্কিত লম্বগুলির

প্রসারিত অংশকে A, B, C···প্রভৃতি বিন্দুতে ছেদ করে। এই ছেদবিন্দুগুলি মসৃণ রেখার দ্বারা যুক্ত কর। তাহলে সরল দোলগতির **সরণ-সময় লেখ** পাওয়া

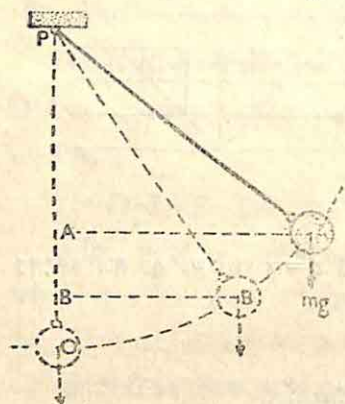
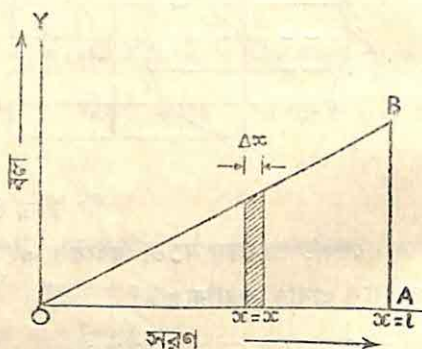
চিত্র 8

যাবে। লেখটি **তরঙ্গের মতো** দেখায়। এই লেখটি $x = a \sin \omega t$ এই সমীকরণের লেখ বলে প্রমাণ করা যায়।

1. 8 সরল দোলগতিতে কণার শক্তি
(Energy in simple harmonic motion)

একটি সরল দোলকের উদাহরণ বিচার করে সরল দোলগতি কণার শক্তি নির্ণয় করা সম্ভব।

আমরা দেখেছি, সরল দোলকের উপর ক্রিয়াশীল তাৎক্ষণিক বলকে mgx/l দ্বারা প্রকাশ করা যায়। ধরা যাক, এই বলের বিরুদ্ধে পিণ্ডটি O বিন্দু থেকে প্রান্তবিন্দু A-তে উপস্থিত হয়েছে। ফলে বলের বিরুদ্ধে পিণ্ডটি যে পরিমাণ কাজ করল তা স্থিতিশক্তি হিসাবে পিণ্ডে সঞ্চিত থাকবে। A বিন্দুতে পিণ্ডটির সমস্ত শক্তিই স্থিতিশক্তি এবং শক্তির নিত্যতা সূত্রানুসারে পিণ্ডটির মোট শক্তি A বিন্দুতে পৌছানোর ফলে পিণ্ড কর্তৃক অর্জিত স্থিতিশক্তির সমান।

O থেকে A-তে পৌছলে পিণ্ডটি মোট কত স্থিতিশক্তি অর্জন করে? এটি নির্ধারণের জন্য আমরা একটি সরণ বনাম বলের লেখচিত্র আঁকতে পারি (চিত্র 10)। পিণ্ডটি যখন O বিন্দুতে তখন এই বলের পরিমাণ শূন্য, যখন B বিন্দুতে তখন mgx/l এবং যখন A বিন্দুতে তখন মান mga/l। এই বলের লেখ মূল-বিন্দুগামী একটি তির্যক সরলরেখা। পিণ্ডের যে কোন অবস্থানে বল $F = kx$; x-এর পরিবর্তনে F পরিবর্তিত হয়। ধর, x-কে পরিবর্তিত করে $x + \Delta x$ করা হল। কিন্তু Δx এতো ছোট যে, $\Delta x \to 0$. এই স্বল্প ব্যবধানে F-এর মান অপরিবর্তিত ধরা যায়।

তা হলে, x-এর এই পরিবর্তনে বল কর্তৃক কৃত কাজ$=F.\Delta x=k.\Delta x$ $=$10নং চিত্রে প্রদর্শিত ফালির ক্ষেত্রফল। কাজেই পরিবর্তনশীল F এই বলের অধীনে O থেকে A বিন্দুতে যাওয়ার ফলে পিণ্ড কর্তৃক কৃত কার্যের পরিমাণ, BOA ত্রিভুজের ক্ষেত্রফলের সমান।

চিত্র 9

চিত্র 10

$\therefore$ O বিন্দু থেকে A বিন্দুতে যাওয়ার ফলে পিণ্ডটি কর্তৃক অর্জিত মোট স্থিতিশক্তি$=\frac{1}{2}\times OA\times AB$

অর্থাৎ পিণ্ডটির মোট শক্তি$=\frac{1}{2}\times OA\times AB$

$$=\frac{1}{2}\times a\times mga/l$$
$$=\frac{1}{2}ma^2\, g/l$$

কিন্তু, সরল দোলকের ক্ষেত্রে $T=2\pi\sqrt{l/g}$

($l=$দোলকের দৈর্ঘ্য, $g=$অভিকর্ষ ত্বরণ, $T=$দোলনকাল)

$$\text{বা}\quad \frac{l}{g}=\frac{T^2}{4\pi^2}$$

$$\therefore\quad \frac{g}{l}=\frac{4\pi^2}{T^2}=4\pi^2n^2 \qquad (\because 1/T=n)$$

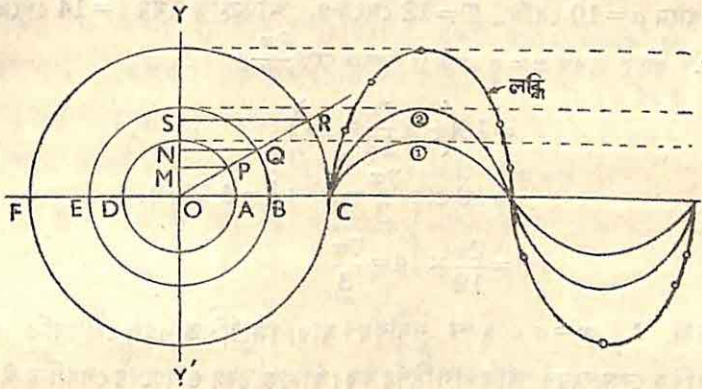
$\therefore$ সরল দোলগতি কণার মোট শক্তি$=\frac{1}{2}ma^2.4\pi^2n^2$

$$=2\pi^2ma^2n^2$$
$$=\frac{1}{2}ma^2\omega^2 \qquad (\because 2\pi n=\omega)$$

1. 9 সমরৈখিক দুটি সরল দোলগতির উপরিপাত

(Superposition of SHM's in the same direction)

(i) **সমদশা অবস্থা (in phase)**—ধর, সমান পর্যায়কাল এবং সমদশাযুক্ত কিন্তু ভিন্ন বিস্তারের দুটি সরল দোলগতি YOY' রেখা বরাবর ক্রিয়াশীল।

APD এবং BQE তাদের নির্দেশক বৃত্ত। যেহেতু দশা এবং পর্যায়কাল অভিন্ন, অতএব O, P এবং Q একই সরলরেখায় অবস্থিত। A থেকে যাত্রা করে একটি নির্দেশক কণা যখন P-তে পৌছবে অপর নির্দেশক কণা তখন Q-তে পৌছবে। ফলে প্রথমটির সরণ হবে OM এবং দ্বিতীয়টির ON। একই সরলরেখা বরাবর সমমুখী দুই সরণের লব্ধি হবে OS=OM+ON।

চিত্র 11

S বিন্দুতে YOY' সরলরেখার উপর লম্ব টেনে ডানদিকে বর্ধিত করলে তা OPQ সরলরেখার প্রসারিত অংশকে R বিন্দুতে ছেদ করে।

অতএব আলোচ্য সরল দোলগতি দুটির উপরিপাতের ফলে লব্ধি সরল দোলগতি O বিন্দুকে কেন্দ্র করে OR ব্যাসার্ধ নিয়ে আঁকা নির্দেশক বৃত্তের সাহায্যে বর্ণনা করা সম্ভব। নির্দেশক বৃত্তগুলির পাশে উপরিপাতিত সরল দোলগতি দুটি এবং তাদের লব্ধির লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। লক্ষ্য কর যে, যখন প্রত্যেকটির সরণ শূন্য তখন লব্ধি দোলগতির সরণও শূন্য। এবং যখন প্রত্যেকের সরণ তার বিস্তারের সমান তখন লব্ধি দোলগতির সরণ তাদের বিস্তারের সমষ্টি।

(ii) বিপরীত দশা অবস্থা (in opposite phase)

ভিন্ন বিস্তারের ও সমান পর্যায়কালের কিন্তু বিপরীত দশাযুক্ত দুটি সরল দোলগতির উপরিপাতের ক্ষেত্রে তাদের লব্ধি পূর্ববর্ণিত পদ্ধতিতে নির্ণয় করা যায়। এক্ষেত্রে শুধু একটি কথা মনে রাখা প্রয়োজন যে, একটির সরণ যখন ধনাত্মক অন্যটির সরণ তখন ঋণাত্মক হবে এবং লব্ধি দোলগতির তাৎক্ষণিক সরণ

হবে উপরিপাতিত দোলগতি দুটির তাৎক্ষণিক সরণের বীজগাণিতিক সমষ্টি। এক্ষেত্রে লব্ধি-বিস্তারের মান সংশ্লিষ্ট দোলগতি দুটির বিস্তারের পার্থক্য।

1. 10 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. একটি সরল দোলগতির পর্যায়কাল 12 সেকেণ্ড ও বিস্তার 10 সেমি.। প্রান্তবিন্দু থেকে যাত্রার 14 সেকেণ্ড পরে তার দশা ও সরণ কত?

এখানে $a=10$ সেমি., $T=12$ সেকেণ্ড, অতিক্রান্ত সময় $t=14$ সেকেণ্ড।

$\therefore$ বস্তুর সরণ $x=a\cos\omega t=a\cos\frac{2\pi}{T}t$

$$=10\left(\cos\frac{2\pi}{12}\times 14\right)$$

$$=10\cos\frac{7\pi}{3}=10\times\tfrac{1}{2}=5 \text{ সেমি.}$$

$$\text{দশা}=\frac{2\pi}{12}\times 14=\frac{7\pi}{3}$$

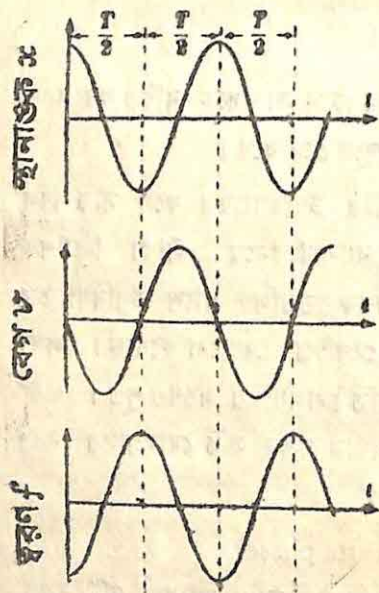
উদা. 2. $x=a\cos\omega t$ সমীকরণ দ্বারা নির্দেশিত সরল দোলগতি কণার তাৎক্ষণিক বেগ, ত্বরণ পর্যায়কাল নির্ণয় কর। স্থানাঙ্ক, বেগ ও ত্বরণের লেখচিত্র আঁক।

কণাটির দোলগতির বিস্তার $=a$; a ব্যাসার্ধ নিয়ে নির্দেশক বৃত্তটি আঁক।

মনে কর, X থেকে যাত্রা করে (চিত্র 7) t সেকেণ্ড পরে কণাটি M বিন্দুতে এসেছে; নির্দেশক কণাটির অবস্থান তখন P বিন্দুতে। ধর $\angle POM=\theta=\omega t$.

ঐ মুহূর্তে কণাটির বেগ তার নির্দেশক কণার রৈখিক বেগ v-র অনুভূমিক উপাংশ $=v\sin\theta=a\omega\sin\omega t$ ($\because$ রৈখিক বেগ $v=a\omega$)

$\therefore$ তাৎক্ষণিক বেগ $=-a\omega\sin t\omega$

(ঋণাত্মক চিহ্ন দিক নির্দেশক)

চিত্র 12

কণাটি যখন M বিন্দুতে তখন তার ত্বরণ B বিন্দুস্থ নির্দেশক কণাটির ত্বরণের অনুভূমিক উপাংশ $=\frac{v^2}{a}\cos\theta=a\frac{v^2}{a^2}\cos\theta=a\omega^2\cos\omega t$

$\therefore$ তাৎক্ষণিক ত্বরণ $= a\omega^2 \cos\omega t = \omega^2 x = \mu x$ ($\because x = a\cos\omega t$)

এখানে μ ($=\omega^2$) = ত্বরণ ও সরণের অনুপাত = ধ্রুবক।

কণাটির পর্যায়কাল = নির্দেশক কণার পর্যায়কাল

কিন্তু নির্দেশক কণার পর্যায়কাল $T = \frac{2\pi}{\omega}$

$\therefore$ দোলগতি কণার পর্যায়কাল $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\mu}}$

12নং চিত্রে স্থানাঙ্ক, বেগ ও ত্বরণের লেখচিত্র দেখান হল।

উদা. 3. সরল দোলগতি সম্পাদনকারী একটি কণার বিস্তার 10 সেমি. পর্যায়কাল 1·5 সেকেণ্ড। স্থির অবস্থান থেকে $5\sqrt{3}$ দূরত্ব অতিক্রম করতে কণাটির কত সময় লাগে?

এখানে $x = 5\sqrt{3}$, $a = 10$ সেমি., $T = 1·5$ সেকেণ্ড

$$\therefore \quad 5\sqrt{3} = 10 \sin\omega t = 10\sin\left(\frac{2\pi}{1·5}\right)t$$

$$\therefore \quad \sin\left(\frac{2\pi}{1·5}\right)t = \frac{\sqrt{3}}{2} = \sin\frac{\pi}{3}$$

$$\therefore \quad \frac{2\pi}{1·5}t = \frac{\pi}{3} \quad \text{বা} \quad t = \frac{1·5}{6} = 0·25 \text{ সেকেণ্ড}$$

উদা. 4. l দৈর্ঘ্যের এবং 6 ঘনাঙ্কের একটি সিলিণ্ডার 9 ঘনাঙ্কের একটি তরলে উল্লম্বভাবে ভাসছে। একটু চেপে ছেড়ে দিলে সিলিণ্ডারটি যে সরল দোলগতি সম্পাদন করে তার পর্যায়কাল নির্ণয় কর।

ধরা যাক, সিলিণ্ডারের ব্যাসার্ধ $= a$

$\therefore$ সিলিণ্ডারের ভর $= \pi a^2 l \times 6$; সিলিণ্ডারের ওজন $= \pi a^2 l \times 6g$

ভাসমান অবস্থায় প্লবতার দরুন ঊর্ধ্বঘাত সিলিণ্ডারের ওজনের সমান।

এখন সিলিণ্ডারটিকে x পরিমাণ চেপে ধরলে, প্লবতার দরুন অতিরিক্ত ঊর্ধ্বঘাত $= \pi a^2 x\rho g$

ঊর্ধ্বঘাতের দরুন উৎপন্ন ত্বরণ $= \frac{\text{অতিরিক্ত ঘাত}}{\text{সিলিণ্ডারের ভর}}$

$$= \frac{\pi a^2 x\rho g}{\pi a^2 l \times 6} = \frac{\rho g}{6l}x$$

$\therefore$ ত্বরণ ও সরণের অনুপাতের ধ্রুবক $\omega^2 = \frac{\rho g}{6l}$

$\therefore$ দোলগতির পর্যায়কাল $T = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{\frac{6l}{\rho g}}$

উদা. 5. দেওয়া আছে যে, কোন কণার সরল দোলগতির বিস্তার 18 ইঞ্চি, এবং পর্যায়কাল 4 সেকেণ্ড। কণাটির সর্বাধিক বেগ, সর্বাধিক ত্বরণ ও কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

এখানে বিস্তার $a=18$ ইঞ্চি $=\frac{3}{2}$ ফুট ; কৌণিক বেগ $\omega=2\pi/4$

$\therefore$ সর্বাধিক বেগ $v=a\omega=\frac{3}{2}\times\frac{2\pi}{4}=$ **2·3 ফুট/সেকেণ্ড**

সর্বাধিক ত্বরণ $=f=\frac{v^2}{a}=$ **3·7 ফুট/সে²** ; কম্পাঙ্ক $n=\frac{1}{T}=\frac{1}{4}$

উদা. 6. একটি বস্তুকণা এক প্রান্ত থেকে যাত্রা করে 12 সেমি. বিস্তার বিশিষ্ট সরল দোলগতি রচনা করে। তার কম্পাঙ্ক মিনিটে 40 হলে 2 সেকেণ্ড পর তার সরণ কত ?

ধরা যাক সরণ $=x$ $\therefore$ $x=a\cos\omega t=a\cos 2\pi nt$

এখানে $a=12$ সেমি. ; $n=\frac{40}{60}=\frac{2}{3}$ (প্রতি সেকেণ্ডে)

$\therefore$ $x=12\cos 2\pi\times\frac{2}{3}\times 2=12\cos\frac{8\pi}{3}=-6$ সেমি.

অনুশীলনী

1. পর্যাবৃত্ত গতি কাকে বলে ? সরল দোলগতি কি ?

2. সংজ্ঞা লেখ : বিস্তার, পর্যায়কাল, কম্পাঙ্ক, দশা ও প্রারম্ভিক দশা।

3. সমদ্রুতি বৃত্তীয় গতির সাহায্যে সরল দোলগতির সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর।

4. $x=a\cos\omega t$ সমীকরণটি সরল দোলগতি নির্দেশ করে। সরল দোলগতি সরলরৈখিক গতি হওয়া সত্ত্বেও এই সমীকরণে কৌণিক বেগ ω কি ভাবে আসে ?

5. সরল দোলগতি কণার শক্তি নির্ণয় কর।

6. একটি হালকা টেস্ট টিউবকে আংশিক জলপূর্ণ করে ছিপি এঁটে একটি বৃহত্তর জলপূর্ণ পাত্রে ভাসমান অবস্থায় রেখে হঠাৎ চেপে ছেড়ে দেওয়া হল। দেখাও যে, টেস্ট টিউবটি সরল দোলগতি সম্পাদন করবে।

[**ইঙ্গিত :** দেখাও যে, সাম্য অবস্থা থেকে অতিরিক্ত নিমজ্জনের দরুন টেস্ট টিউবের উপর ক্রিয়াশীল অতিরিক্ত প্লবতা অতিরিক্ত নিমজ্জনের সমানুপাতিক]

7. 12 সেকেণ্ড পর্যায়কালের একটি সরল দোলগতির বিস্তার 10 সেমি. হলে, প্রান্তসীমা থেকে যাত্রা আরম্ভের 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 24 সেকেণ্ডের সরণ নির্ণয় করে একটি চিত্র অঙ্কন কর।

8. দেখাও যে, একটি সরল দোলকের পর্যায়কাল $T=2\pi\sqrt{l/g}$

9. একটি কণা 36 সেকেণ্ড পর্যায়কালের সরল দোলগতি সম্পাদন করছে। দোলনের স্থিরবিন্দু অতিক্রম করে যাওয়ার পর কণাটির বেগ 4 ফুট/সেকেণ্ড হলে, দোলগতির বিস্তার কত? [14·41 ফুট]

10. একটি কণা 4 সেমি. দীর্ঘ একটি সরলরেখার উপর সরল দোলগতি সম্পাদন করছে। সরলরেখাটির মধ্যবিন্দু অতিক্রম করার সময় বেগ 12 সেমি./সেকেণ্ড হলে দোলগতির পর্যায়কাল কত? [1·047 সেকেণ্ড]

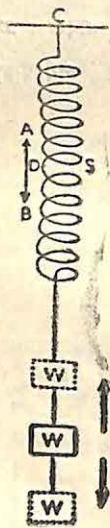
11. কোন কণা একটি সরলরেখার উপর সরল দোলগতি সম্পাদন করছে। স্থির অবস্থান থেকে কণাটির দূরত্ব যখন x_1 এবং x_2, তখন সংশ্লিষ্ট বেগ u_1 এবং u_2 হলে দেখাও যে দোলগতির পর্যায়কাল

$$T=2\pi\{(x_2{}^2-x_1{}^2)(u_1{}^2-u_2{}^2)\}^{1/2}$$

2
দ্বিতীয় অধ্যায়
দোলনের প্রকৃতি (Nature of Vibration)

2.1 তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য দোলন (Transverse and longitudinal vibrations)

পরবর্তী অধ্যায়ে তরঙ্গ সম্পর্কে আলোচনা করার সময় আমরা দেখব যে, এক সারি কণার সময়ানুক্রমিক দোলন থেকে তরঙ্গের উদ্ভব হয়। কণাগুলির দোলনের অভিমুখ যদি তরঙ্গের গতির অভিমুখে আড়াআড়ি অর্থাৎ লম্বভাবে থাকে তবে ঐ দোলনকে **তির্যক দোলন** বলা হয়।

আর যদি কণাগুলির দোলনের অভিমুখ তরঙ্গের গতির অভিমুখের সমান্তরাল হয় তবে ঐ দোলনকে **অনুদৈর্ঘ্য দোলন** বলা হয়। জলের উপর যখন তরঙ্গ খেলে যায় তখন জলের কণাগুলির যে দোলন তা তির্যক দোলন, আর কোন স্প্রিং-কে ঝুলিয়ে তার নিম্নপ্রান্তে একটি ওজন বেঁধে হঠাৎ টেনে ছেড়ে দিলে তার যে দোলন হয় তা অনুদৈর্ঘ্য দোলন।

চিত্র 13

2.2 স্বাভাবিক দোলন (Free vibration)

অনুকূল অবস্থায় যে কোন স্থিতিস্থাপক বস্তু দোলন সম্পাদন করতে পারে। এই দোলন তির্যক বা অনুদৈর্ঘ্য দুই-ই হতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, সরল দোলকে পিণ্ডের দোলন অথবা এক প্রান্তে আটকানো কোন ধাতব পাত্রের দোলন তির্যক; বিকৃত স্প্রিং-এর দোলন অনুদৈর্ঘ্য।

বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল বল বা টর্ক যদি সরণের সমানুপাতিক হয় এবং সরণের মান যদি খুব বেশি না হয় তবে এই সমস্ত দোলন সরল দোলগতিতে হয়ে থাকে।

কোন স্থিতিস্থাপক বস্তুতে দোলন উদ্দীপিত করে উদ্দীপক বল অপসারিত করে নেওয়ার পর বস্তুটি তার স্বকীয় বৈশিষ্ট্য দ্বারা নির্ধারিত নিজস্ব কম্পাঙ্কে দুলতে থাকে। এই বৈশিষ্ট্য বস্তুর ভর এবং স্থিতিস্থাপক ধর্মাবলীর উপর নির্ভর করে। দোলনক্ষম কোন বস্তু যখন নিজের স্থিতিস্থাপক বলের দরুন দোলন সম্পাদন করে তখন তার দোলনকে **স্বাভাবিক দোলন** বলে। সরল দোলকের দোলন বিকৃত স্প্রিং-এর দোলন, স্বাভাবিক দোলনের উদাহরণ।

এই দোলনের পর্যায়কালকে **স্বাভাবিক পর্যায়কাল** (natural period) এবং কম্পাঙ্ককে **স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক** (natural frequency) বলে।

2. 3 পরবশ দোলন (Forced vibration)

কম্পনশীল বস্তুর দোলনের বিস্তার ক্রমশ কমতে থাকে; কম্পন বজায় রাখতে হলে বাইরে থেকে শক্তি সরবরাহ করা প্রয়োজন। কম্পনশীল বস্তুর উপর বাইরে থেকে একটি **পর্যাবৃত্ত বল** (periodic force) প্রয়োগ করলে, প্রযুক্ত বলটি তার উপর তার নিজস্ব কম্পাঙ্ক চাপিয়ে দিতে চায়। আর বস্তুটি তার স্বাভাবিক কম্পাঙ্কে কম্পনশীল থাকতে চায়। প্রাথমিক অবস্থায় উভয় কম্পাঙ্কের দোলনই যুগপৎ উপস্থিত থাকে। কিন্তু সময়ের সঙ্গে স্বাভাবিক দোলন হ্রাস পায় এবং অবশেষে প্রযুক্ত বলের চাপিয়ে-দেওয়া কম্পন সম্পূর্ণভাবে প্রতিষ্ঠিত হয়। এই ধরনের চাপিয়ে-দেওয়া দোলনকে **পরবশ দোলন** বলা হয়।

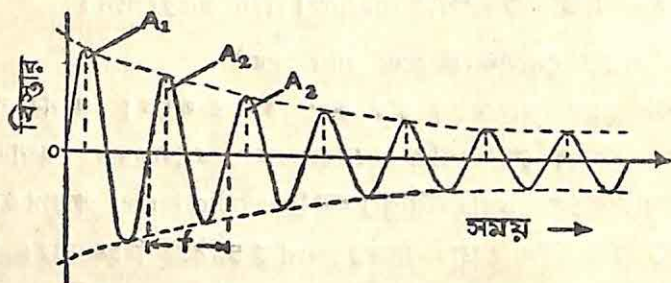
2. 4 অনুনাদ (Resonance)

দোলনের বিস্তার সাধারণত ছোট হয়। প্রযুক্ত বলের পর্যায়কাল যদি কম্পনশীল বস্তুর স্বাভাবিক পর্যায়কালের সমান হয়, তবে পরবশ দোলন খুব দ্রুত প্রতিষ্ঠিত হয়। এবং প্রযুক্ত বলের মান ছোট হওয়া সত্ত্বেও দোলনের বিস্তার তুলনামূলকভাবে খুব বেশি হয়। অবশ্য গতিবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে গতির বাধাও বাড়তে থাকে। কিন্তু তা সত্ত্বেও সুস্থিত (steady) দোলনে এমন একটি অবস্থা আসে যখন বাইরের উৎস থেকে পাওয়া শক্তি গতির বাধা অতিক্রম করতে ব্যয়িত হয়ে যায়। পরবশ দোলনের বিশেষ ক্ষেত্রে বাইরে থেকে প্রযুক্ত বলের পর্যায়কাল যদি কম্পনশীল বস্তুর স্বাভাবিক পর্যায়কালের সমান হয় (যার ফলে বিস্তার খুব বেশি হয়) তখন তাকে **অনুনাদ** বলে। অনুনাদের সময় বস্তুর স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক এবং প্রযুক্ত বলের কম্পাঙ্ক সমান হয়।

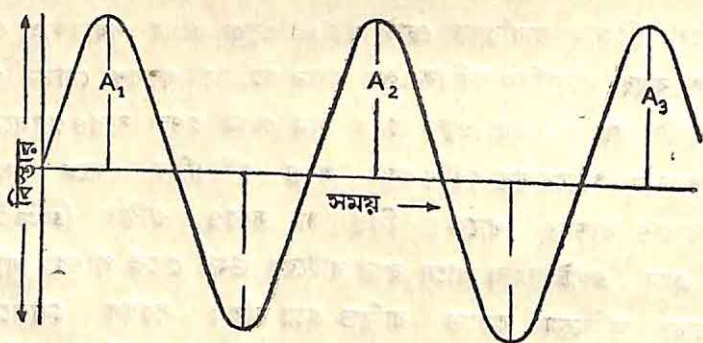
কম্পনশীল বস্তুর উপর দমনকারী কোন বল ক্রিয়াশীল না থাকলে (যে অবস্থা বাস্তবে ঘটানো অসম্ভব) অনুনাদের ফলে কম্পনের বিস্তার অসীম হওয়া উচিত। বস্তুত কম্পনের বিস্তার কত হবে দমনকারী বলগুলি তা স্থির করে।

2. 5 দমিত দোলন (Damped Oscillation)

বাস্তবক্ষেত্রে দেখা যায় যে, স্বাভাবিক দোলন সম্পাদনকারী বস্তুর দোলনের

বিস্তার ক্রমশ হ্রাস পায় এবং অবশেষে একেবারে শূন্যে এসে ঠেকে। এরকম

চিত্র 14

হওয়ার কারণ বাইরের এবং ভিতরের নানা প্রকার ঘর্ষণের দ্বারা বস্তুটির দোলন অনবরত বাধা পায়।

একটি সুরশলাকা যখন কাঁপে তার বাহুর প্রত্যেক স্তর একে অপরের সাপেক্ষে পিছলে যায়। এই আভ্যন্তরীণ ঘর্ষণ বা সান্দ্রতার দরুন একটি

চিত্র 15

বিরুদ্ধ বলের আবির্ভাব ঘটে। এই আভ্যন্তরীণ ঘর্ষণ এবং বায়ুর গতি দোলনের বিস্তারকে ক্রমশ কমিয়ে দেয় এবং অবশেষে বস্তুকে স্থির অবস্থায় নিয়ে আসে। একটি কম্পনশীল সরল দোলকের দোলনও অনুরূপভাবে দমিত হয়। ভিতর এবং বাইরে থেকে এইভাবে বাধাপ্রাপ্ত দোলনকে দমিত দোলন বলা হয়। দমিত দোলনে দোলনের বিস্তার ক্রমে কমে যায়। 14 নং চিত্রে দমিত এবং 15 নং চিত্রে অদমিত দোলনের লেখচিত্র দেখান হল। লক্ষ্য কর 14 নং চিত্রে $A_1 > A_2 > A_3 \ldots$ এবং 15 নং চিত্রে $A_1 = A_2 = A_3 = \cdots$ ইত্যাদি।

2. 6 স্বাভাবিক ও পরবশ দোলনের পার্থক্য
(Difference between free & forced vibrations)

(i) স্বাভাবিক দোলন সম্পাদিত হয় বস্তুর নিজস্ব স্থিতিস্থাপক বলের ক্রিয়ায়। বস্তুটির উপর এ সময় বাইরের বল ক্রিয়াশীল থাকে না। কিন্তু পরবশ দোলন সম্পাদিত হয় বাইরে থেকে প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ায়।

(ii) স্বাভাবিক দোলনের বিস্তার যে কোন মানের—ছোট বা বড় হতে পারে। এটি নির্ভর করে প্রাথমিক অবস্থায় কতটা শক্তি ব্যয় করে দোলন সঞ্চার করা হয়েছে। দমন উপস্থিত থাকলে এই বিস্তার ক্রমশ হ্রাস পায়। কিন্তু অনুনাদের অবস্থা ছাড়া অন্য সময় পরবশ দোলনের বিস্তার সাধারণত ছোট হয়। অনুনাদের কাছাকাছি বিস্তার হঠাৎ বৃদ্ধি পায় এবং অনুনাদ অবস্থায় বিস্তার সর্বাধিক হয়।

(iii) স্বাভাবিক দোলনের কম্পাঙ্ক বস্তুর ভর এবং স্থিতিস্থাপকতার উপর নির্ভরশীল। কিন্তু পরবশ দোলনের কম্পাঙ্ক প্রযুক্ত বলের কম্পাঙ্কের সমান।

(iv) বিরুদ্ধ বলগুলির ক্রিয়ায় কিছু সময় পরে স্বাভাবিক দোলনের স্বাভাবিক বিনাশ ঘটে। কিন্তু প্রযুক্ত বল যতক্ষণ ক্রিয়াশীল থাকে পরবশ দোলন ততক্ষণ বজায় থাকে।

দ্রষ্টব্য ঃ আদর্শ স্বাভাবিক দোলন বাস্তবে প্রতিষ্ঠা করা সম্ভব নয়। বাইরের এবং ভিতরের বিরুদ্ধ বল যতই কমানো যাক না কেন সেগুলি সম্পূর্ণ দূর করা সম্ভব নয়। ছোট্ট একটি কাচের প্রকোষ্ঠে একটি সরল দোলক ঝুলিয়ে ঘর থেকে বায়ু বের করে নিয়ে দোলকটিকে স্বাধীনভাবে দুলতে দিলে দেখা যায় দোলনের বিস্তার বায়ুপূর্ণ স্থানে দোলনের তুলনায় অনেক কম হারে হ্রাস পায়। সম্পূর্ণ স্তব্ধ হতে অনেক বেশি সময় নেয়। ঘর থেকে বায়ু অপসারিত করে নেওয়ায় দোলনের বিরুদ্ধে ক্রিয়াশীল বলগুলি প্রায় অপসৃত হয় বলে এমন ঘটে।

2. 7 পরবশ দোলন বনাম অনুনাদ
(Forced vibration vs. resonance)

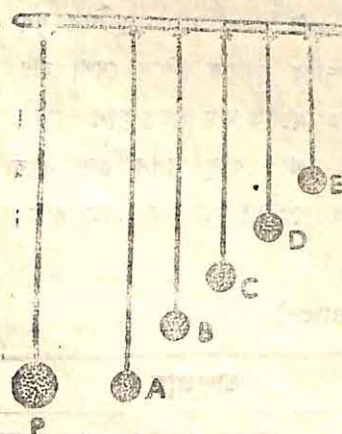
পরবশ দোলন	অনুনাদ
1. পরবশ দোলনে বস্তু স্বাভাবিক কম্পাঙ্কের বদলে প্রযুক্ত বলের কম্পাঙ্কে কম্পিত হয়।	1. অনুনাদ পরবশ দোলনের একটি বিশেষ ক্ষেত্র। এ অবস্থায় প্রযুক্ত বলের কম্পাঙ্ক বস্তুর স্বাভাবিক কম্পাঙ্কের সমান।

পরবশ দোলন	অনুনাদ
2. পরবশ দোলনে দোলনের বিস্তার খুব বেশি হয় না।	2. অনুনাদের অবস্থার বিস্তার প্রচণ্ড ; দমন শূন্য হলে বিস্তার অসীম।
3. প্রাথমিক অবস্থায় বস্তুর দ্বিবিধ চরিত্র—দমিত স্বাভাবিক দোলন ও প্রযুক্ত বলের কম্পাঙ্কে উদ্দীপিত দোলন। পরিশেষে প্রথমটি অদৃশ্য হয়, শেষেরটি বজায় থাকে।	3. অনুনাদে এরূপ অবস্থার সৃষ্টি হয় না। কেননা অনুনাদের ক্ষেত্রে উভয় কম্পাঙ্ক সমান।

2. 8 পরবশ দোলন ও যান্ত্রিক অনুনাদ
(Forced vibration & mechanical resonance)

বার্টনের একটি পরীক্ষার সাহায্যে আমরা পরবশ দোলন এবং যান্ত্রিক অনুনাদ অনুধাবন করতে পারি।

দুটি দৃঢ় অবলম্বনের মধ্যে তিন-চার মিটার লম্বা একটি সুতো টান করে অনুভূমিকভাবে ঝুলানো আছে। এক প্রান্ত থেকে আধমিটার দূরে একটি ভারি গোলকযুক্ত পেণ্ডুলাম P এবং আরও কতকগুলি হালকা পেণ্ডুলাম A,B,C,D...ঐ সুতো থেকে ঝুলিয়ে দেওয়া হল। A,B,C...দোলকের দৈর্ঘ্য-গুলি পরস্পর সামান্য পৃথক।

ভারি পেণ্ডুলাম P-এর দৈর্ঘ্য হালকা পেণ্ডুলামগুলির সবচেয়ে বড় এবং সবচেয়ে ছোটটির মাঝামাঝি। কাজেই এর পর্যায়কাল দীর্ঘতম এবং ক্ষুদ্রতম হালকা দোলকের পর্যায়কালের মধ্যবর্তী P গোলকটিকে এবার সুতোর দৈর্ঘ্যের সঙ্গে আড়াআড়ি দোলনে উদ্দীপিত কর। সুতোর মাধ্যমে এই দোলগতি হালকা দোলকগুলিতেও সঞ্চারিত হবে। কাগজের দোলক-গুলির এই দোলন পরবশ দোলন।

চিত্র 16

লক্ষ্য করলে দেখা যায় যে, হালকা দোলকগুলির মধ্যে যেটির দৈর্ঘ্য P দোলকের দৈর্ঘ্যের সমান বা কাছাকাছি সেটি প্রায় সঙ্গে সঙ্গে পরবশ দোলন

গ্রহণ করে এবং তার বিস্তারও বেশ বড় হয়। কিন্তু অন্য দোলকগুলির দৈর্ঘ্য P-এর দৈর্ঘ্যের চেয়ে আলাদা বলে এদের স্বাভাবিক কম্পাঙ্কও আলাদা। ফলে P-এর এই দোলন গ্রহণ করতে এরা কিছুটা সময় নেয় এবং তাদের বিস্তারও তত বেশি হয় না। এই বিস্তার আবার বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের পেণ্ডুলামে বিভিন্ন।

P-দোলকের সমান দৈর্ঘ্যের দোলকটির ক্ষেত্রে অবস্থা ভিন্ন। দৈর্ঘ্য সমান বলে দোলক দুটির কম্পাঙ্ক সমান। এক্ষেত্রে তাই অনুনাদ ঘটে।

P-দোলকে একটি নাট লাগানো থাকে। ঐ নাটের সাহায্যে P-দোলকের দৈর্ঘ্য পরিবর্তিত করা যায়। P-র দৈর্ঘ্য পাল্টিয়ে অন্যান্য হাল্কা দোলকেরও অনুনাদ ঘটানো যায়।

অন্যান্য পরীক্ষার সাহায্যেও অনুনাদ দেখানো যায়; যেমন **অনুনাদী বায়ু-স্তম্ভ** (Resonating air cloumn)। একটা কাচের জার নাও। একটি কম্পমান স্বরশলাকা নিয়ে জারের মুখে ধর এবং ধীরে ধীরে জারে জল ঢালো। জারে জলস্তম্ভের একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় জোরালো শব্দ সৃষ্ট হবে। জলতলের উপর জারে যে বায়ুস্তম্ভ রয়েছে সেই বায়ুস্তম্ভের স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক যখন স্বরশলাকার কম্পাঙ্কের সমান হয় তখন এই জোরালো শব্দের সৃষ্টি হয়। ঐ বিশেষ দৈর্ঘ্যের বায়ুস্তম্ভের হেরফের (হ্রাস বা বৃদ্ধি) ঘটালে আর জোরালো শব্দ শোনা যায় না। (এ সম্পর্কে বায়ুস্তম্ভের কম্পন অধ্যায় দেখ)

মনে রেখঃ অনুনাদ শুধু শব্দের ক্ষেত্রেই সীমাবদ্ধ নয়। বার্টনের পরীক্ষায় আমরা যান্ত্রিক অনুনাদের পরিচয় পেয়েছি। 2.9 অনুচ্ছেদের ষষ্ঠ উদাহরণ তড়িতীয় অনুনাদ।

2. 9 অনুনাদের কয়েকটি উদাহরণ
(Few examples of resonance)

1. দোলনায় বসা শিশু কিছুক্ষণ পর পর দোলনার উপর ঘাত প্রয়োগ করে দোলনার বড় বিস্তার প্রতিষ্ঠিত করে। এটি ঘাত প্রযুক্ত অনুনাদের উদাহরণ।

2. গৃহ, সেতু, যন্ত্র ইত্যাদি নির্মাণের ক্ষেত্রে অনুনাদ দোলন খুব গুরুত্বপূর্ণ। দোলনের ফলে কাঠামোগত কোন না ক্ষতি হয় সেদিকে লক্ষ্য রাখতে হয়।

3. সেতু অতিক্রম করার সময় সৈন্যদের প্যারেড করে যাওয়া নিষিদ্ধ। কেননা, প্যারেডের কম্পাঙ্কের সঙ্গে সেতুর স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক মিলে গেলে অনুনাদের দরুন সেতু ভীষণভাবে ক্ষতিগ্রস্ত হতে পারে।

4. উপযুক্ত দৈর্ঘ্যের সনোমিটার তারের সামনে কম্পনশীল সুরশলাকা উপস্থিত করলে সেই তারে অনুনাদ প্রতিষ্ঠিত হয়।

5. বেহালা, সেতার প্রভৃতি বাদ্যযন্ত্রে যে ফাঁপা বাক্স দেখা যায় তার কারণ কি? ঐ বাক্সগুলি বায়ুপূর্ণ থাকে। যখন তার কম্পিত করে শব্দ সৃষ্টি করা হয় তখন ঐ কম্পন বাক্সের বায়ুতে বাহিত হয় এবং বায়ু পরবশ কম্পনে কম্পিত হয়। এতে শব্দ জোরালো হয়। ঐ ফাঁপা বাক্স অনুনাদকের কাজ করে। আমাদের মুখগহ্বরও এই জাতীয় একটি অনুনাদক।

6. রেডিওতে নব (knob) ঘুরিয়ে বিভিন্ন কেন্দ্র ধরার পিছনেও এই অনুনাদ নীতি ক্রিয়াশীল। নব ঘুরিয়ে রেডিও সার্কিটের কম্পাঙ্ক উদ্দিষ্ট কেন্দ্র কর্তৃক প্রসারিত তরঙ্গের কম্পাঙ্কের সমান করা হয়। অনুনাদের দরুন রেডিও সার্কিটে সেই কম্পাঙ্কের বৃহত্তর বিস্তার প্রতিষ্ঠিত হয়।

অনুশীলনী

1. তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য দোলন বলতে কি বোঝ? উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা কর।
2. স্বাভাবিক, দমিত এবং পরবশ দোলন কি? উদাহরণ সহ বুঝিয়ে দাও।
3. অনুনাদ কি? অনুনাদের কয়েকটি উদাহরণ দাও ও ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ কর।
4. স্বাভাবিক ও পরবশ দোলনে কি পার্থক্য? পরবশ দোলন সৃষ্টির শর্ত কি?
5. পরবশ দোলন ও অনুনাদের মধ্যে প্রভেদ কোথায়?
6. পরবশ দোলনের ক্ষেত্রে সুস্থিত ও অ-সুস্থিত অবস্থা বলতে কি বোঝ? বিষয়টি ব্যাখ্যা কর।
7. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি ব্যাখ্যা কর:

(a) একটি কম্পমান সুরশলাকার হাতলকে একটি পাতলা কাঠের বোর্ডে চেপে ধরলে শব্দ জোরালো হয়।

(b) একটি কাচের জারের মুখে কম্পমান সুরশলাকা ধরে জারে ধীরে ধীরে জল ঢাললে জারের একটি বিশেষ লেভেলে খুব জোরালো শব্দ শোনা যায়। কিন্তু ঐ লেভেল সামান্য একটু বাড়ালে বা কমালে শব্দ আর জোরালো থাকে না।

(c) বেহালা, সেতার প্রভৃতি বাদ্যযন্ত্রে একটি করে ফাঁপা বাক্স থাকে।

(d) সেতু অতিক্রম কালে সৈন্যদলের প্যারেড করে যাওয়া নিষিদ্ধ।

8. নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর টীকা লেখ:

পরবশ দোলন, অনুনাদ, দমিত দোলন, স্বাভাবিক দোলন।

3 তৃতীয় অধ্যায়

তরঙ্গ (Waves)

3. 1 তরঙ্গ (Waves)

কোন বিস্তৃত মাধ্যমের কণাগুলির দোলনের ফলে **তরঙ্গ** উৎপন্ন হয়। স্থির জলাশয়ে ঢিল ফেললে জলে তরঙ্গ উৎপন্ন হয়। ঢিলটি জলপৃষ্ঠের যে স্থান স্পর্শ করে সেই অঞ্চলটুকু ঢিলের চাপে নিচে নেমে যায়। কিন্তু জল স্থিতিস্থাপক মাধ্যম, সাম্যাবস্থা ফিরিয়ে এনে এই বিকৃতি অতিক্রম করার জন্য জলের অভ্যন্তরে প্রতিক্রিয়া বল দেখা দেয়। ফলে নেমে-যাওয়া অঞ্চল আবার উপরের দিকে উঠে আসে। উঠে আসার সময় অর্জিত ভরবেগের দরুন ঐ অঞ্চল পূর্বাবস্থায় ফিরে জাড্যতায় উপরের দিকে চলে যায়। ফলে এই অঞ্চলের জল বেশ কিছুক্ষণ ওঠানামা করে। ঘর্ষণ ও অন্যান্য বাধার দরুন দোলনের বিস্তার ক্রমশ হ্রাস পেয়ে অবশেষে একেবারে স্তব্ধ হয়ে যায়।

কিন্তু ঢিলটি যে অঞ্চলে পড়েছে দোলন সেখানেই আবদ্ধ থাকে না। সংসক্তি (cohesion) বলের দরুন ঊর্ধ্ব বা অধোগামী একটি কণা তার প্রতিবেশী কণাকে উপরে বা নিচে টেনে নিতে চেষ্টা করে। ফলে প্রতিবেশী কণাও প্রথম কণার গতি অনুসরণে বাধ্য হয়; অবশ্য ইতিমধ্যে কিছুটা

চিত্র 17

সময় ব্যয় হয়ে যায়। এভাবে প্রথম কণার গতি পর পর দ্বিতীয়, তৃতীয় প্রভৃতি ক্রমাবস্থিত কণায় সঞ্চারিত হয়। ফলে কণাগুলি তাদের সাম্য অবস্থানের সাপেক্ষে উপর-নিচে আন্দোলিত হতে থাকে এবং ঢিল সঞ্চারিত **উত্তেজনা** (disturbance) তাদের মধ্য দিয়ে সামনের দিকে এগিয়ে যায়।

ধান ক্ষেতের উপর দিয়ে বাতাস বয়ে গেলে তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। উত্তেজনা ক্ষেতের এক প্রান্ত থেকে অন্য প্রান্ত পর্যন্ত পৌঁছে যায়,

কিন্তু ধানের শিষগুলি তাদের জায়গা ছেড়ে চলে যায় না, স্থির অবস্থানের সাপেক্ষে তারা সামান্য এপাশ-ওপাশ করে মাত্র এবং অনেকটা রিলে দৌড়ের মতো উত্তেজনাকে এ-প্রান্ত থেকে ও-প্রান্তে পৌছে দেয়।

মাধ্যমের কণাগুলির দোলন যদি সরল দোলগতি হয় তা হলে সৃষ্ট তরঙ্গকে **সরল দোলতরঙ্গ** (Simple harmonic wave) বলা হয়।

একটা উদাহরণের সাহায্যে বিষয়টি আর একটু স্পষ্ট করা যাক। টান করা একটা সুতোর এক প্রান্ত তির্যক ভাবে সরল দোলগতিতে আন্দোলিত করা হচ্ছে। দোলনের বিস্তার A এবং কম্পাঙ্ক n এবং সুতো এতো লম্বা যে অন্য প্রান্তের প্রভাব বিবেচ্য নয়। আন্দোলনের অংশে সুতো বরাবর নিরবচ্ছিন্ন এক **গুচ্ছ সরল দোল তরঙ্গ** ক্রমাগত অগ্রসর হবে। প্রান্তের নিকটবর্তী অঞ্চলে সুতোর একাংশের আকার, $T/8$ সময় পরপর ($T=$ দোলনের পর্যায়কাল) একটি পর্যায়কাল অবধি, যেমন হবে তা পাশের চিত্রে দেখানো হল। দেখ, তরঙ্গ রূপটি ডানদিকে ক্রমাগত সরে যাচ্ছে—একটি বিশেষ তরঙ্গশীর্ষের উপর তীরচিহ্ন দিয়ে বিষয়টি দেখানো হয়েছে। কিন্তু সুতোর উপরস্থ যে কোন বিন্দু (কালো ফুটকি লক্ষ্য কর) সরল দোল গতিতে সাম্য অবস্থানের সাপেক্ষে উপর-নিচে দুলছে। তরঙ্গ রূপের গতির সঙ্গে সুতোর একটি বিন্দুর গতি যেন

চিত্র 18

বিভ্রান্তি সৃষ্টি না করে। প্রথমটির নির্দিষ্ট V বেগে সুতো বরাবর চলছে; দ্বিতীয়টি সুতোর সঙ্গে আড়াআড়ি সরল দোলগতি সম্পাদন করছে।

তরঙ্গ সম্পর্কে উপরের আলোচনা থেকে তরঙ্গ গতির দুটি বৈশিষ্ট্যের সন্ধান পাওয়া যায়:

(i) মাধ্যমের কোন বিন্দুতে উত্তেজনা সঞ্চারিত হলে সেই উত্তেজনা মাধ্যমের অন্যান্য বিন্দুতেও ক্রমে ছড়িয়ে পড়ে; কিন্তু মাধ্যমের কোন কণাই তার স্থির অবস্থান থেকে দূরে চলে যায় না; যা চলে যায় তা হল উত্তেজিত অবস্থা বা উত্তেজনা। একে আমরা **তরঙ্গ** বলি।

(ii) মাধ্যমের কণাগুলি উত্তেজনার গতিমুখের সমান্তরাল বা তির্যক যে কোন একভাবে আন্দোলিত হয়।

3. 2 তরঙ্গের প্রকারভেদ (Type of waves)

সরল দোলতরঙ্গ দু'প্রকারের হয়। যথা: (1) **তির্যক তরঙ্গ** ও (2) **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ**।

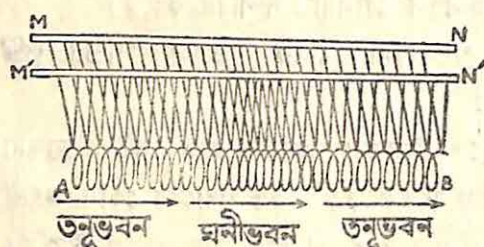
তির্যক তরঙ্গ: তরঙ্গ উৎপাদনকারী কণাগুলির দোলনের অভিমুখ যদি উদ্ভূত তরঙ্গের গতির অভিমুখের আড়াআড়ি হয় তখন ঐ তরঙ্গকে **তির্যক তরঙ্গ** বলে।

স্থির জলাশয়ে ঢিল ফেললে যে তরঙ্গ উৎপন্ন হয় তা স্পষ্টত তির্যক তরঙ্গ। টান করে বাঁধা তারকে আড়াআড়ি টেনে ছেড়ে দিলে তার মধ্যে যে তরঙ্গ উৎপন্ন হয় তা-ও তির্যক তরঙ্গ। আলো, তাপ, বেতার তরঙ্গও তির্যক তরঙ্গ।

জলে ঢিল ফেললে যে তরঙ্গ উৎপন্ন হয় তা যে তির্যক তরঙ্গ একটি সহজ পরীক্ষায় সেকথা প্রমাণ করা যায়। জলের মধ্যে একটি কর্ক ভাসিয়ে রেখে জলের উপর লম্বভাবে ঢিল ফেলে তরঙ্গের সৃষ্টি কর। দেখ যে, তরঙ্গের সঙ্গে কর্কটি ওঠানামা করছে কিন্তু কিছুতেই তার সাম্য অবস্থান থেকে এপাশে-ওপাশে সরে যাচ্ছে না। তরঙ্গ কর্ক ছাড়িয়ে বিস্তৃত হয়ে পড়ছে।

অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ: তরঙ্গ উৎপাদনকারী কণাগুলির দোলনের অভিমুখ যদি তরঙ্গের গতির অভিমুখের সমান্তরাল হয় তবে উদ্ভূত তরঙ্গকে **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ** বলা হয়।

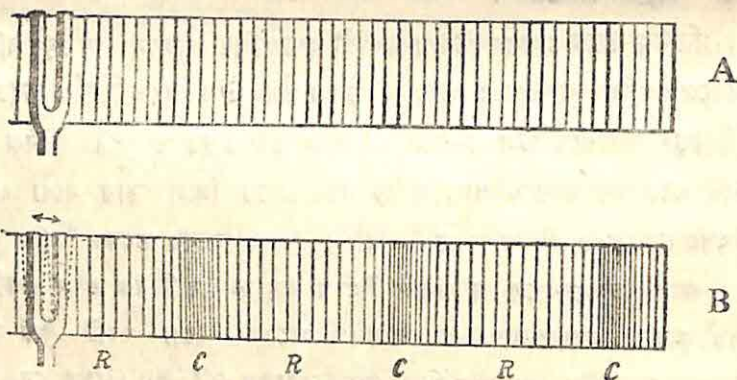
(i) একটি লম্বা সরু তারকে কুণ্ডলী পাকিয়ে স্প্রিং প্রস্তুত কর। একটি কাঠের ফ্রেম থেকে V আকারের সিল্কের সুতোর সাহায্যে স্প্রিংটি অনুভূমিকভাবে ঝুলিয়ে দাও। স্প্রিং-এর এক প্রান্তে এবার একটি

অনুভূমিক ধাক্কা প্রয়োগ কর। দেখ, একটি তরঙ্গ স্প্রিংটির দৈর্ঘ্য বরাবর এগিয়ে গেল। লক্ষ্য কর যে, স্প্রিং-এর কয়েকটি কুণ্ডলী বেশ ঘেঁষাঘেঁষি (ঘনীভবন), আবার কয়েকটি কুণ্ডলী বেশ ফাঁক ফাঁক (তনুভবন) হয়ে আছে। স্প্রিং-এর কুণ্ডলীগুলি তরঙ্গের গতির অভিমুখের সঙ্গে সমান্তরাল ভাবে দুলছে। সুতরাং ঐ তরঙ্গ **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ**।

M N M' N' A B
তনুভবন ঘনীভবন তনুভবন

চিত্র 19

(ii) বায়ু মাধ্যমে শব্দ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ উৎপন্ন করে একস্থান থেকে অন্যত্র অগ্রসর হয়। শব্দের উৎসের সম্মুখস্থ বায়ু-মাধ্যমকে কল্পনায় কতকগুলি স্তরে বিভক্ত করে নিলে (চিত্র 20A) মাধ্যম দিয়ে তরঙ্গ বিস্তারের কালে কোন সময়ে কতকগুলি স্তর (চিত্র 20B-তে C দ্বারা সূচিত) খুব ঘেঁষাঘেঁষি করে থাকে। এই

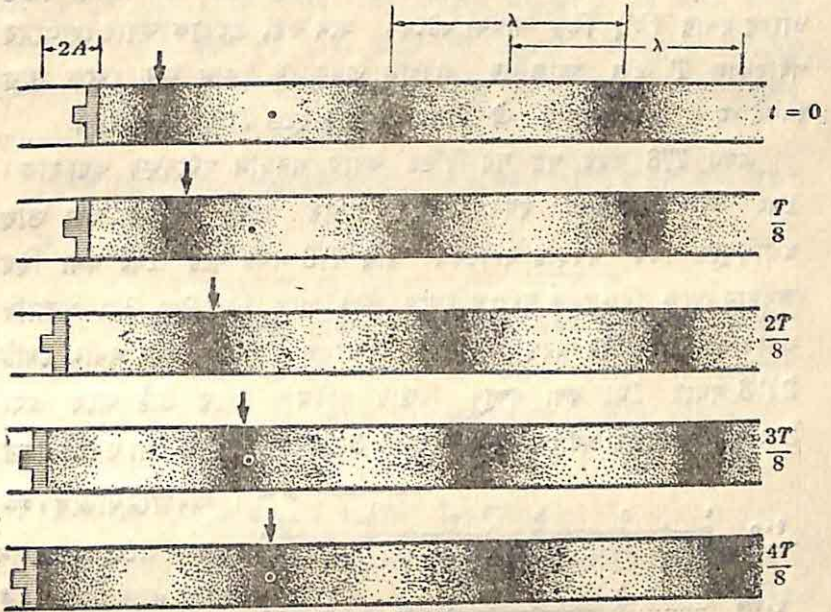
A

B
R C R C R C

চিত্র 20

অঞ্চলে **ঘনীভবন** (Compression or condensation) ঘটেছে বলা হয়। আবার কতকগুলি স্তর (R দ্বারা সূচিত) বেশ ফাঁকা ফাঁকা থাকে। এখানে **তনুভবন** (Rarefaction) ঘটেছে বলা হয়। কিছু সময় পরে ঘনীভবন অঞ্চলে তনুভবন এবং তনুভবন অঞ্চলে ঘনীভবন ঘটে। বায়ুমাধ্যমের স্তরগুলি এভাবে পর্যায়ক্রমে ঘনীভূত ও তনূভূত হয়ে এক প্রান্ত থেকে অপর প্রান্তে শক্তি পৌছে দেয়।

অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ব্যাপারটি 21 নং চিত্রে আরও ভাল করে বোঝান হল। একটা লম্বা নলে গ্যাস ভর্তি করা আছে। এক প্রান্তে একটি পিস্টন ব্যবস্থা রয়েছে।

সূক্ষ্ম বিন্দুগুলি গ্যাসকণিকা। নলের দৈর্ঘ্য বরাবর পিস্টনে সরল দোলগতি সঞ্চার করা হল। প্রত্যেক পূর্ণ দোলনের অংশবিশেষে এমন এক অঞ্চলের সৃষ্টি হয় যেখানে চাপ সাম্যাবস্থার চাপের চেয়ে বেশি। এটি **ঘনীভবনের**

$2A$ λ λ $t = 0$ $\frac{T}{8}$ $\frac{2T}{8}$ $\frac{3T}{8}$ $\frac{4T}{8}$

চিত্র 21

অঞ্চল—ঘনবিন্যস্ত কণিকাঞ্চল। ঘনীভবন সৃষ্টির পর এমন অঞ্চলের সৃষ্টি হয় যেখানে চাপ সাম্যাবস্থার চাপের চেয়ে কম। এটি **তনূভুত অঞ্চল**—এ অঞ্চলে কণিকার বিন্যাস হালকা। ঘনীভবন ও তনূভবন ডানদিকে নির্দিষ্ট বেগে অগ্রসর হয় (ছোট্ট উল্লম্ব তীর রেখাটির পর্যায়ক্রমিক অবস্থান লক্ষ্য কর)। আর মাধ্যমের কোন একটি কণার (ভারি কালো দাগ চিহ্নিত) গতি সরল অনুদৈর্ঘ্য দোলগতি।

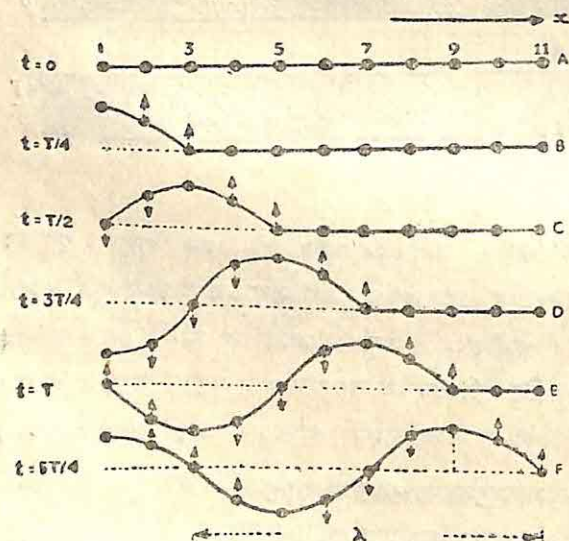
3. 3 লেখচিত্রের সাহায্যে তরঙ্গের প্রকাশ
(Graphical representation of waves)

সরলরেখায় অবস্থিত এক সারি কণার সরণ কিভাবে সময়ের সঙ্গে পরিবর্তিত হয় তা অনুধাবন করলে তির্যক তরঙ্গের উৎপত্তি ও বিস্তার সম্পর্কে স্পষ্ট ধারণা করা যায়।

মনে কর, কোন সরলরেখার উপর সমান ব্যবধানে কয়েকটি কণা অবস্থিত। ধরা যাক, 1নং কণায় একটি উত্তেজনা সঞ্চারিত করা হল। ফলে কণাটি ঐ সরলরেখার সঙ্গে অভিলম্বে সরল দোলগতিতে আন্দোলিত হল।

কণাগুলির মধ্যে স্থিতিস্থাপক সম্পর্কের দরুন এই তির্যক কম্পন 1নং কণা থেকে 2নং কণায়, 2নং কণা থেকে 3নং কণায় একইভাবে সঞ্চারিত হতে থাকবে।

প্রতিটি কণা এভাবে সরল দোলগতিতে আন্দোলিত হবে ঠিকই, কিন্তু তাদের দশার কিছু কিছু পার্থক্য ঘটবে। মনে কর, প্রত্যেক কণার দোলনের পর্যায়কাল T এবং কণাগুলির ব্যবধান এমন যে, কোন কণা থেকে তার নিকটতম প্রতিবেশী কণায় ঐ দোলন সঞ্চারিত হতে $T/8$ সময় লাগে।

এখন $T/8$ সময় পর পর বিভিন্ন কণার অবস্থান পর্যবেক্ষণ করা যাক। 1নং কণাতে উত্তেজনা যখন সবে পেঁছেছে তখন প্রত্যেক কণা তার মধ্যবিন্দুতে স্থির অবস্থায় থাকবে। তার $T/8$ সময় পরে 1নং কণা স্থির অবস্থান থেকে বিস্তারের অর্ধাংশ উপরে উঠে যাবে, কিন্তু 2নং, 3নং ইত্যাদি কণাগুলি তখনও স্থির অবস্থানে থাকবে। আরও $T/8$ সময় পরে অর্থাৎ মোট $2T/8$ সময়ে 1নং কণা সম্পূর্ণ বিস্তার পরিমাণ উপরে উঠে যাবে এবং 2নং কণা বিস্তারের অর্ধাংশ উপরে উঠবে। 3নং, 4নং ইত্যাদি কণা তখনও স্থির অবস্থানে থাকবে। যত সময় যাবে, আন্দোলন তত একের পর এক কণায় সঞ্চারিত হবে এবং শুরু থেকে $8T/8$ অর্থাৎ T সময় পর আন্দোলন নবম কণায় এসে পেঁছুবে। চিত্রে $T/8$ সময় পর পর আন্দোলনের বিভিন্ন অবস্থা দেখানো হয়েছে। স্থির অবস্থান থেকে যে কোন মুহূর্তে কণাগুলির উল্লম্ব দূরত্ব তাদের তাৎক্ষণিক সরণ নির্দেশ করে। লক্ষ্য কর যে আরম্ভের T সময় পর 1নং এবং 9নং কণা স্থির-অবস্থান থেকে উপরের দিকে যেতে উন্মত। অতএব তাদের দশা এক। যতোই সময় যাবে আন্দোলন ততো 9নং কণা ছাড়িয়ে পর পর অন্যান্য কণায় সঞ্চারিত হবে।

চিত্র 22

চিত্রের সর্বশেষ লেখটি একটি সম্পূর্ণ তরঙ্গ রূপ (wave form) প্রকাশ করে। তরঙ্গ রূপটি লক্ষ্য করলে দেখা যায়, কোন কোন কণার সরণ সর্বাধিক ধনাত্মক এবং কোন কোন কণার সরণ সর্বাধিক ঋণাত্মক। যে সকল কণার সর্বাধিক ধনাত্মক সরণ হয় তারা **তরঙ্গশীর্ষ** (crest) এবং যাদের সর্বাধিক ঋণাত্মক সরণ হয় তারা **তরঙ্গপাদ** (trough) গঠন করে। তির্যক তরঙ্গের রূপ সাইন বা কোসাইন লেখ-র অনুরূপ।

তির্যক তরঙ্গের মতো অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গও লেখ চিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়।

3. 4 চলতরঙ্গ ও তার বৈশিষ্ট্য
(Progressive wave and its characteristics)

তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য উভয় প্রকার তরঙ্গকেই **চলতরঙ্গ** বলা হয়। কারণ, মাধ্যমের এক কণা থেকে পরবর্তী কণায় কম্পন সঞ্চারিত করে তাদের সাহায্যে মাধ্যমের এক প্রান্ত থেকে অন্য প্রান্তে তরঙ্গ অগ্রসর হয়। চিত্রে $T/8, 2T/8, 3T/8$ ইত্যাদি সময় পরে তরঙ্গ কতদূর অগ্রসর হয়েছে তা দেখানো হয়েছে।

চলতরঙ্গের **নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি** উল্লেখযোগ্য :

(i) মাধ্যমের কণাগুলির ক্রমাগত আন্দোলনে চলতরঙ্গের উদ্ভব হয় এবং মাধ্যমের ঘনত্ব, স্থিতিস্থাপকতা ইত্যাদির উপর নির্ভর করে একটি নির্দিষ্ট বেগে মাধ্যম দিয়ে অগ্রসর হয়।

(ii) মাধ্যমের প্রতিটি কণা স্ব স্ব সাম্য অবস্থার সাপেক্ষে একই কম্পাঙ্ক ও বিস্তারে তির্যক বা অনুদৈর্ঘ্য ভাবে দোলে।

(iii) মাধ্যম দিয়ে চলতরঙ্গের বিস্তারের ফলে যে কোন দুটি কণার দোলনে দশার পার্থক্য তাদের দূরত্বের সমানুপাতিক।

(iv) চলতরঙ্গ মাধ্যমের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে **তরঙ্গমুখের** (wave front) অভিলম্ব বরাবর শক্তি বহন করে নিয়ে যায়, কিন্তু মাধ্যমের কণাগুলির কোন স্থায়ী স্থানান্তর ঘটে না। (3.5 অনুচ্ছেদে তরঙ্গমুখের সংজ্ঞা দেখ।)

3. 5 চলতরঙ্গ সম্পর্কে কয়েকটি সংজ্ঞা (Some definitions)

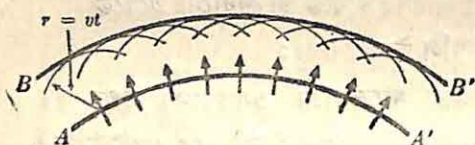
তরঙ্গদৈর্ঘ্য (Wavelength) : তরঙ্গস্থিত সমদশা সম্পন্ন দুই নিকটতম কণার দূরত্বকে **তরঙ্গদৈর্ঘ্য** বলা হয়। নিকটতম দুই তরঙ্গশীর্ষ বা তরঙ্গপাদের দূরত্বও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিমাপ দেয়। তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে λ দিয়ে সূচিত করা হয়। চিত্র 18, 21, 22 দেখ।

তরঙ্গের বিস্তার (Amplitude of wave) : সাম্য অবস্থান থেকে

তরঙ্গবাহী কণার সর্বাধিক সরণকে **তরঙ্গের বিস্তার** বলা হয়। বিস্তার A বা a দিয়ে সূচিত করা হয়। চিত্র 18 দেখ।

তরঙ্গের পর্যায়কাল (Period of wave)ঃ তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কম্পনশীল কণাগুলির দোলগতির পর্যায়কালকে **তরঙ্গের পর্যায়কাল** বলা হয়। এক পর্যায়-কালে একটি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্ট হয় এবং চলতরঙ্গ এক তরঙ্গদৈর্ঘ্য অগ্রসর হয়ে যায়। পর্যায়কাল T দ্বারা সূচিত করা হয়।

তরঙ্গের কম্পাঙ্ক (Frequency)ঃ এক সেকেণ্ডে মাধ্যমের মধ্যে যে ক'টি পূর্ণ তরঙ্গের সৃষ্টি হয় সেই সংখ্যাকে **তরঙ্গের কম্পাঙ্ক** বলা হয়। তরঙ্গের কম্পাঙ্ক তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কণাগুলির দোলগতির কম্পাঙ্কের সমান। কম্পাঙ্ক n দ্বারা সূচিত করা হয়।

তরঙ্গমুখ (Wavefront)ঃ কোন মাধ্যমের মধ্য দিয়ে তরঙ্গ প্রবাহিত হওয়ার ফলে সমদশাযুক্ত কণাগুলির যে সঞ্চারপথ সৃষ্টি হয় তাকে **তরঙ্গমুখ** বলে। জলে ঢিল ফেললে চারদিকে যে ঢেউ ছড়িয়ে পড়ে তার তরঙ্গমুখ বৃত্তাকার যে কোন সমসত্ত্ব মাধ্যমে উৎস থেকে তরঙ্গ সব দিকে সমবেগে ছড়িয়ে পড়ে বলে সমসত্ত্ব মাধ্যমে তরঙ্গমুখ বৃত্তাকার বা গোলকাকার হয়। 23নং চিত্রে AA' ও BB' দুটি তরঙ্গমুখ দেখানো হয়েছে। AA' তরঙ্গমুখটি t সেকেণ্ড পরে r $(=vt)$ দূরত্ব এগিয়ে BB'-এ রূপ নিয়েছে ; v তরঙ্গের বেগ।

চিত্র 23

3.6 তরঙ্গের বেগ, কম্পাঙ্ক এবং দৈর্ঘ্যের পারস্পরিক সম্পর্ক
(Relation between velocity, frequency & wavelength)

তরঙ্গ বেগ (Wave velocity)ঃ এক সেকেণ্ডে মাধ্যমের মধ্য দিয়ে তরঙ্গ যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে ঐ মাধ্যমে **তরঙ্গের বেগ** বলা হয়।

মনে কর, কোন তরঙ্গের কম্পাঙ্ক n, বেগ v এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ। তাহলে সংজ্ঞানুসারে, 1 সেকেণ্ডে n-সংখ্যক পূর্ণ তরঙ্গ উৎপন্ন হবে। কিন্তু যেহেতু প্রত্যেক পূর্ণ তরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ, কাজেই উৎপন্ন হওয়ার 1 সেকেণ্ড পরে প্রথম উৎপন্ন তরঙ্গটি উৎস থেকে $n\lambda$ চলে দূরে যাবে। 1 সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্বই তরঙ্গবেগ। $\therefore\ v = n\lambda$

3.7 চলতরঙ্গের সমীকরণ (Equation of progressive wave)

আমরা দেখলাম মাধ্যমের কণাগুলির সরল দোলগতি থেকে চলতরঙ্গের উদ্ভব। চলতরঙ্গ যখন কোন মাধ্যম দিয়ে অগ্রসর হয় তখন আন্দোলন এক কণা থেকে পরবর্তী কণায় সঞ্চারিত হতে কিছু সময় লাগে। ফলে তরঙ্গের অভিমুখ বরাবর কণাগুলির দশা প্রথম কণাটির সাপেক্ষে দূরত্বের অনুপাতে কম হয়।

আবার, এক তরঙ্গদৈর্ঘ্য দূরত্বে অবস্থিত দুটি কণার মধ্যে একটি পূর্ণ কম্পনের পার্থক্য অর্থাৎ 2π দশা-পার্থক্য থাকে।

মনে কর, এক সারি কণা পর পর সজ্জিত আছে এবং তাদের মধ্য দিয়ে একটি চলতরঙ্গ অগ্রসর হচ্ছে। এক্ষেত্রে মাধ্যমের সমস্ত কণা সরল দোলগতি সম্পাদন করছে। মনে কর, প্রথম কণার দোলগতির সমীকরণ $y=a\sin\omega t$.

প্রথম কণাটি থেকে x দূরত্ব অবস্থিত কণার দোলগতির সমীকরণও অনুরূপ হবে, কিন্তু তার দশা প্রথমটির সাপেক্ষে $\frac{2\pi}{\lambda}x$ কম হবে। অতএব ঐ কণাটির দোলগতির সমীকরণ হবে :

$$y=a\sin\left(\omega t-\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

$$=a\sin\left(2\pi nt-\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

$$=a\sin\left(2\pi\frac{v}{\lambda}t-\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

অর্থাৎ $$y=a\sin\frac{2\pi}{\lambda}\left(vt-x\right)$$

এই সমীকরণকে **চলতরঙ্গের সমীকরণ** বলে। কারণ এই সমীকরণের সাহায্যে প্রথম কণা (যা $x=0$ বিন্দুতে অবস্থিত) থেকে বিভিন্ন দূরত্বে অবস্থিত কণার বিভিন্ন সময়ের সরণ হিসাব করা যায়।

3.8 তরঙ্গের প্রতিফলন ও প্রতিসরণ

(Reflection and refraction of waves)

সমতল দর্পণে যেমন আলোক প্রতিফলিত হয় এবং গতিপথে মাধ্যমের পরিবর্তন হলে আলোকের প্রতিসরণ হয়, অনুরূপভাবে শব্দেরও প্রতিফলন ও প্রতিসরণ হয়। বস্তুত তরঙ্গের সাহায্যে যে সমস্ত শক্তির বিস্তার ঘটে তাদের সকলের ক্ষেত্রেই প্রতিফলন ও প্রতিসরণ ঘটে।

দৃঢ় প্রতিবন্ধকের উপর আপতিত হয়ে কোন তরঙ্গ যদি প্রতিবন্ধকে বাধা পেয়ে আবার প্রথম মাধ্যমে ফিরে আসে তবে তাকে তরঙ্গের **প্রতিফলন** বলে। অন্যদিকে, এক মাধ্যম থেকে অন্য মাধ্যমে যাওয়ার সময় তরঙ্গ তার গতির অভিমুখ পরিবর্তন করে। এই ঘটনাকে তরঙ্গের **প্রতিসরণ** বলে।

প্রতিফলনের সূত্র দুটি। যথা :

1. আপতন কোণ এবং প্রতিফলন কোণ সর্বদা সমান হয়।

2. আপতিত তরঙ্গ ও প্রতিফলিত তরঙ্গের দোলন সর্বদা একই সমতলে অবস্থান করে।

প্রতিসরণের সূত্রও দুটি। যথা :

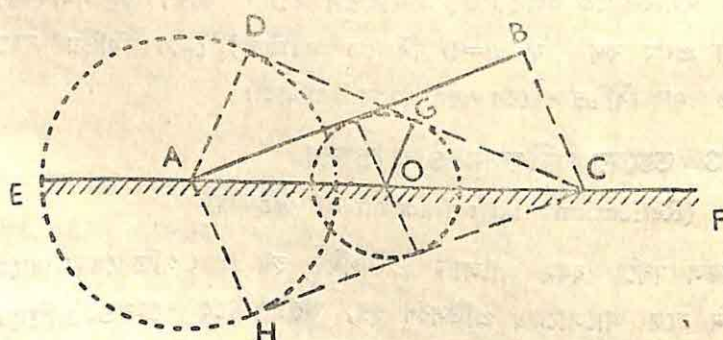
1. আপতন কোণের সাইন এবং প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত সর্বদা ধ্রুবক হয় এবং এই ধ্রুবকের মান দুই মাধ্যম এবং তরঙ্গের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল। একে বলে স্নেল সূত্র (Snell's law)।

2. আপতিত তরঙ্গ এবং প্রতিসৃত তরঙ্গের দোলন একই সমতলে অবস্থান করে।

3. 9 তরঙ্গের প্রতিফলন ও প্রতিসরণের ব্যাখ্যা

(Explanation of reflection and refraction)

হাইগেন (Huygen)-এর ধারণার সাহায্যে তরঙ্গের প্রতিফলন ও প্রতিসরণ ব্যাখ্যা করা চলে।

প্রতিফলন—চিত্রে EF প্রতিফলক। ঐ প্রতিফলকে আপতিত AB একটি

চিত্র 24

সমতল তরঙ্গমুখ। A বিন্দু থেকে আন্দোলন পৌঁছানোর t সেকেণ্ড পরে B

বিন্দু থেকে আন্দোলন প্রতিফলকে পৌছয়। প্রতিফলক না থাকলে t সেকেণ্ড পর AB তরঙ্গমুখ CH অবস্থানে পৌছতো। প্রতিফলকের দরুন যে সময়ে B বিন্দু থেকে আন্দোলন C-তে পৌছয় সেই সময়ে A থেকে আন্দোলন $AD = BC = ct$ ব্যাসার্ধযুক্ত উপরের অর্ধবৃত্তের যে কোন বিন্দুতে যাবে। C থেকে ঐ অর্ধবৃত্তে CD স্পর্শক টান। তা হলে, CD হল প্রতিফলিত তরঙ্গমুখ।

সমকোণী ত্রিভুজদ্বয় $\triangle ABC \equiv \triangle ADC$, ($\because$ AC সাধারণ, $AD = BC$)
$\therefore \angle BAC = \angle DCA$; অর্থাৎ **আপতন কোণ = প্রতিফলন কোণ।**

প্রতিসরণ—ধর, মাধ্যম 1 ও 2-এর বিভেদতল EF। প্রথম মাধ্যমে তরঙ্গের বেগ c_1, দ্বিতীয় মাধ্যমে c_2। AB হল EF-র উপর আপতিত সমতল তরঙ্গমুখ (বৃহদাকার গোলকীয় তরঙ্গমুখের স্বল্পাংশ)। যে মুহূর্তে EF-কে A স্পর্শ করল

চিত্র 25

তা থেকে সময় গণনা করে, মনে কর, t সময়ে B বিন্দু থেকে আন্দোলন EF-স্থ C বিন্দুতে পৌছল। কাজেই B-থেকে আন্দোলন যখন C-তে পৌছয় তখন A থেকে আন্দোলন A বিন্দুকে কেন্দ্র করে $c_2 t$ ব্যাসার্ধের একটি গোলকের উপর থাকবে। C থেকে ঐ গোলকে CD স্পর্শক টান। CD হল প্রতিসৃত তরঙ্গমুখ।

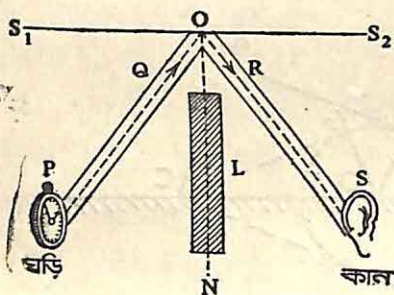
এখন $\sin i = BC/AC$ এবং $\sin r = AD/AC$

$$\therefore \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{BC}{AC} \cdot \frac{AC}{AD} = \frac{BC}{AD} = \frac{c_1 t}{c_2 t} = \frac{c_1}{c_2} = \mu, \text{ ধ্রুবক।}$$

এই হল প্রতিসরণের **স্নেল সূত্র** (Snell's law)।

3.10 শব্দের প্রতিফলনের পরীক্ষা
(Experiments on sound reflection)

আলোকের প্রতিফলনের সঙ্গে শব্দের প্রতিফলনের কিছু পার্থক্য আছে। প্রথমত, আলোর প্রতিফলনে প্রতিফলকের গাত্র মসৃণ হওয়া চাই, শব্দের জন্য অতটা মসৃণতা না থাকলেও চলে। দ্বিতীয়ত, আলোর প্রতিফলন ক্ষুদ্র তলেও (small reflecting surface) সম্ভব, কিন্তু শব্দের জন্য বৃহৎ তল প্রয়োজন। এর কারণ আলোকতরঙ্গ খুব ছোট, তুলনায় শব্দতরঙ্গ অনেক বড়। দেওয়াল, গাছের সারি, পাহাড়-পর্বত, বড় দালান ইত্যাদি শব্দের ভাল প্রতিফলক।

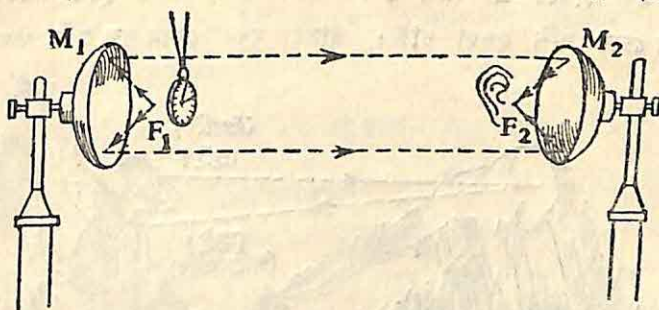
পরীক্ষা 1 : একটি টেবিলের উপর খাড়াভাবে একটি মসৃণ, সমতল ও বড় আকারের কাষ্ঠফলক S_1S_2 রাখ। এই ফলকটি শব্দের প্রতিফলনে দর্পণের কাজ করবে। ফলকটির সঙ্গে সমান কোণ করে দুটি ফাঁপা নল PQ এবং RS টেবিলে অনুভূমিক অবস্থায় বসাও। নল দুটির অক্ষরেখা (axis) দর্পণের O বিন্দুতে গিয়ে মিলেছে। নল দুটির মাঝখানে একটা কাঠের পর্দা L রাখা আছে। এবারে PQ-নলের মুখে একটা সচল ঘড়ি রাখ এবং RS-নলের মুখে সাবধানে কান পেতে দেখ, ঘড়ি-চলার টিক্‌টিক্ শব্দ স্পষ্ট শুনতে পাওয়া যাচ্ছে। কিন্তু RS-নলটিকে বাঁয়ে বা ডানে বা উপরে সামান্য একটু কাত করলে আর শব্দ শোনা যাবে না। শব্দ শোনা যায় এমন স্থানে RS-নলকে রেখে কাষ্ঠফলকের উপর ON লম্ব টানো। মেপে দেখ, **আপতন কোণ** $\angle PON$ **= প্রতিফলন কোণ** $\angle SON$।

চিত্র 26

কাঠের পর্দাটি থাকায় ঘড়ির শব্দ সরাসরি কানে আসতে পারছে না। কাজেই শব্দ PQ-নলের ভিতর দিয়ে গিয়ে কাষ্ঠফলকের O বিন্দুতে প্রতিহত হয়ে প্রতিফলনের নিয়ম মেনে RS নলে প্রবেশ করছে এবং কানে পৌঁছচ্ছে।

পরীক্ষা 2 : শুধু সমতল পৃষ্ঠেই নয়, গোলকীয় তলেও (spherical surface) শব্দের প্রতিফলন হয়।

M_1, M_2 দুটি অবতল প্রতিফলক। স্ট্যাণ্ডের সাহায্যে এদের প্রতিফলক পৃষ্ঠদ্বয় পরস্পর এমনভাবে মুখোমুখি স্থাপন করা হয়েছে যে, দুই প্রতিফলকের

অক্ষ একই অনুভূমিক রেখায় থাকে। F_1 ও F_2 হল যথাক্রমে M_1 ও M_2-এর প্রতিফলকের ফোকাস। M_1M_2 দূরত্ব এমন যে, M_1-এ অবস্থিত কোন সচল ঘড়ির শব্দ বায়ুপথে M_2 থেকে শোনা যায় না। এখন F_1-এ একটি সচল ঘড়ি

M1 M2 F1 F2

চিত্র 27

রাখ এবং F_2 বিন্দুতে কান পাতো (বা কোন শব্দগ্রাহক যন্ত্র রাখ)। কানে টিক্‌টিক্ শব্দ স্পষ্ট শোনা যাবে। ফোকাস ছেড়ে কান সামান্য এদিক-ওদিক রাখলে শব্দ আর শোনা যাবে না। এর কারণ ঘড়ি M_1-এর ফোকাসে বলে শব্দ M_1-এর অবতল পৃষ্ঠ থেকে প্রতিফলিত হয়ে অক্ষের সমান্তরাল হয়ে ওঠে (ঠিক যেমন আলোকরশ্মির ক্ষেত্রে হয়) এবং M_2-এর অবতল পৃষ্ঠে আবার প্রতিফলিত হয়ে ওর ফোকাস F_2-এ কেন্দ্রিত হয়।

এ থেকে প্রমাণ হল যে, আলোকের প্রতিফলনের নিয়ম অনুসারে শব্দও প্রতিফলিত হয়।

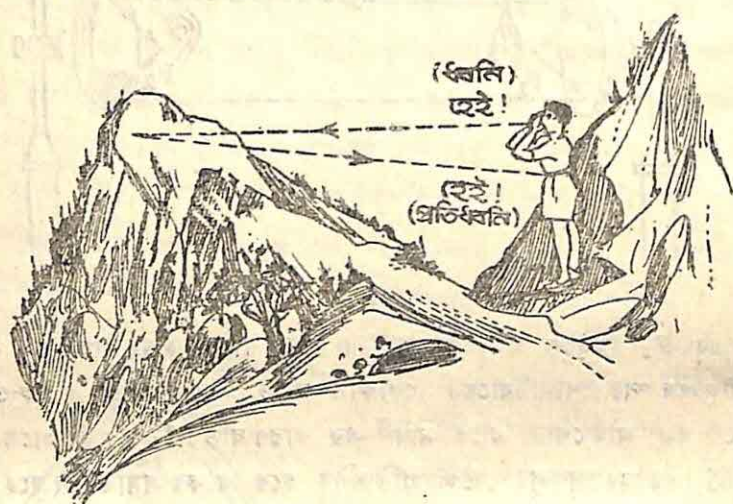
3. 11 প্রতিধ্বনি (Echo)

শব্দের প্রতিফলনের চমৎকার প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত হল প্রতিধ্বনি।

পাহাড়ের সামনে, বনের ধারে, উঁচু দেওয়াল-ঘেরা বড় মাঠের মধ্যে বা দরজা-জানালা বন্ধ করে বড় হলঘরে কোন শব্দ করলে খানিক পরে ঐ শব্দ আবার শুনতে পাওয়া যায়। শব্দের এই পুনরাবৃত্তিকে **প্রতিধ্বনি** বলে।

প্রতিধ্বনি আসলে প্রতিফলিত শব্দমাত্র। উৎস থেকে বায়ুর মাধ্যমে শব্দ গেল পাহাড়ে বা বনে; সেখানে প্রতিফলিত হয়ে আবার ফিরে এল উৎসে। এই হল প্রতিধ্বনি। কাজেই প্রতিধ্বনির নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেওয়া যেতে পারে।

সংজ্ঞা : কোন ব্যক্তির কাছে অবস্থিত উৎস থেকে উৎপন্ন ক্ষণস্থায়ী ধ্বনি যদি দূরবর্তী কোন প্রতিফলকের দ্বারা প্রতিফলিত হয়ে ঐ ব্যক্তির কানে পুনরাবৃত্তি ঘটায় তবে **ঐ প্রতিফলিত ধ্বনিকে মূল ধ্বনির প্রতিধ্বনি বলে।**

প্রতিধ্বনি যখন মূল ধ্বনির পুনরাবৃত্তি, তখন মূল শব্দ মিলিয়ে যাওয়ার আগেই যদি প্রতিফলিত শব্দ ফিরে আসে তবে প্রতিধ্বনি পরিষ্কার শোনা যাবে না। এই কারণে প্রতিধ্বনি শুনতে হলে প্রতিফলকের দূরত্ব একটা নির্দিষ্ট মানের চেয়ে বেশি হওয়া চাই। আমরা যখন কোন শব্দ শুনি, তখন শোনা

চিত্র 28

শেষ হওয়ার সঙ্গে সঙ্গেই তার অনুভূতি চলে যায় না; $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড পর্যন্ত তার রেশ মস্তিষ্কে থেকে যায়। কাজেই মূলধ্বনির কানে পৌঁছানোর অন্তত $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডের মধ্যে প্রতিধ্বনির হাজির হওয়া চলবে না। শব্দের গতি সেকেণ্ডে প্রায় 332 মি.। কাজেই $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডে শব্দ প্রায় 33·2 মিটার অতিক্রম করে। হাততালি, আকস্মিক আওয়াজ প্রভৃতি ক্ষণস্থায়ী শব্দের প্রতিধ্বনি শুনতে প্রতিফলনের দূরত্ব তাই 33·2 ÷ 2 বা **16·6 মিটারের বেশি** হওয়া প্রয়োজন।

ক্ষণস্থায়ী ধ্বনির ক্ষেত্রে প্রতিধ্বনির জন্য নিম্নতম দূরত্ব 16·6 মি. হলেও কথার ক্ষেত্রে দূরত্বের ব্যবধান একটু ভিন্ন। সেকেণ্ডে আমরা 5টি শব্দাংশ (syllable) উচ্চারণ করি। কাজেই **একমাত্রিক** (monosyllabic) শব্দ উচ্চারণ করতে সময়ে লাগে $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ড। এই সময়ের মধ্যে শব্দ প্রায় 66·4 মিটার যায়। সুতরাং এক্ষেত্রে প্রতিধ্বনির জন্য প্রয়োজনীয় নিম্নতম দূরত্ব হবে 33·2 মিটার। দ্বিমাত্রিক (disyllabic) বা ত্রিমাত্রিক (trisyllabic) শব্দের ক্ষেত্রে প্রয়োজনীয় দূরত্ব হবে ঐ দূরত্বের দ্বিগুণ বা তিনগুণ।

গুণিতক প্রতিধ্বনি (Multiple echo)—কখন কখন আমরা মেঘের গুরু

গুরু ধ্বনি শুনি। শব্দের একাধিক প্রতিধ্বনির জন্য এমন হয়। বিভিন্ন মেঘস্তরের দ্বারা প্রতিফলিত একাধিক প্রতিধ্বনি পর পর কানে পৌঁছায় বলে নিরবচ্ছিন্ন মেঘগর্জন শোনা যায়। এরূপ প্রতিধ্বনিকে গুণিতক প্রতিধ্বনি বলে।

দুই পাহাড়ের মাঝখানে দাঁড়িয়ে কোন ধ্বনি সৃষ্টি করলেও এ রকম গুণিতক প্রতিধ্বনি শোনা যায়।

3. 12 প্রতিধ্বনির ব্যবহারিক প্রয়োগ (Applications of echo)

সমুদ্রের গভীরতা কত, ইঁদারা বা কুয়োতে কত নিচে জল রয়েছে ইত্যাদি মাপার কাজে প্রতিধ্বনিকে ব্যবহার করা চলে। প্রথমে শব্দ করা হবে, তারপর ঐ শব্দের প্রতিধ্বনি কতক্ষণ পরে ফিরে এল তা মাপা হবে; জলের মাধ্যমে শব্দের বেগ কত তা জানা আছে। কাজেই শব্দ কত দূরত্ব অতিক্রম করেছে তা জানা যাবে।

সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয়ঃ একটি জাহাজের নিচে A বিন্দুতে বিস্ফোরণ ঘটিয়ে খুব জোরালো শব্দ উৎপন্ন করা হয়। ঐ শব্দ, ধরা যাক, সমুদ্রের তলদেশ C তে প্রতিফলিত হয়ে, প্রতিধ্বনিরূপে জাহাজের তলদেশের অপর বিন্দু B-তে ফিরে এল। B-তে একটি যন্ত্র বসানো থাকে—নাম হাইড্রোফোন (hydrophone)। ঐ যন্ত্রের সাহায্যে বিস্ফোরণ মুহূর্ত ও প্রতিধ্বনির প্রত্যাবর্তন মুহূর্তের মধ্যে সময়ের ব্যবধান নিরূপণ করা যায়।

ধর, d = পরীক্ষাস্থলে সমুদ্রের গভীরতা;

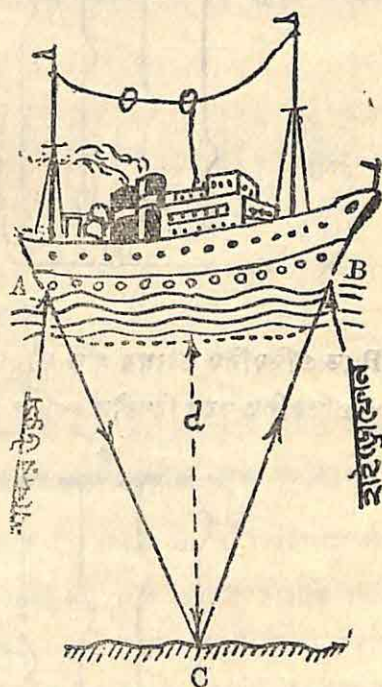
V = সমুদ্রজলে শব্দের বেগ;

D = A ও B বিন্দুর ব্যবধান;

t = A থেকে C হয়ে B-তে ফিরতে শব্দ যে সময় নিল।

চিত্র 29

যদি P বিন্দু AB-এর মধ্যবিন্দু হয় তবে জ্যামিতি থেকে

$$AP^2 + CP^2 = AC^2 \; (= BC^2)$$

কিন্তু AC $(=BC)=$ শব্দের বেগ $\times$ সময় $=Vt/2$

$$\therefore \quad CP^2=AC^2-AP^2=\frac{V^2t^2}{4}-\frac{D^2}{4} \qquad (\because \quad AP=D/2)$$

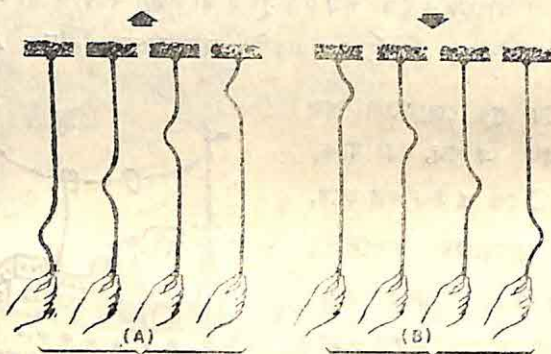
বা $\quad d^2=\frac{1}{4}(V^2t^2-D^2) \qquad \therefore \ d=\frac{1}{2}\sqrt{V^2t^2-D^2}$

কাজেই D, t ও V জানা থাকলে সহজেই গভীরতা d জানা যায়।

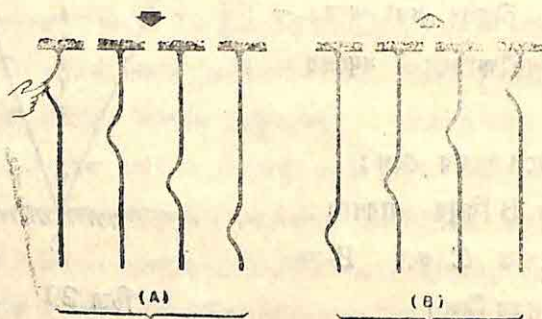
3. 13 প্রতিফলনে দশার পরিবর্তন (Phase change on reflection)

প্রতিফলক যদি নমনীয় হয় তবে প্রতিফলনের ফলে তরঙ্গের দশার পরিবর্তন হয়। দেখা গেছে, এরকম ক্ষেত্রে প্রতিফলনের ফলে তরঙ্গশীর্ষ তরঙ্গপাদে এবং তরঙ্গপাদ তরঙ্গশীর্ষে পরিণত হয়।

30নং চিত্রের A-তে সুতো বরাবর তীরাভিমুখে তরঙ্গ পাঠানো হল। চিত্র

(A) (B)

চিত্র 30

B-তে প্রতিফলিত তরঙ্গের গতি তীরাভিমুখে দেখান হল। দেখ, আপতিত তরঙ্গ ও প্রতিফলিত তরঙ্গ বিপরীত দশাযুক্ত অর্থাৎ প্রতিফলনে দশার π পার্থক্য ঘটেছে।

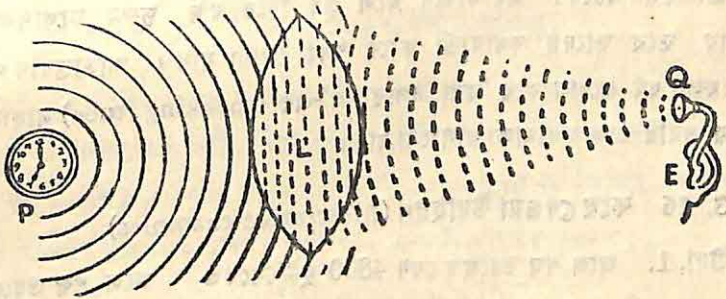
(A) (B)

চিত্র 31

31নং চিত্রের A-তে মুক্ত প্রান্তের দিকে অগ্রসরমান তরঙ্গ ও B-তে

মুক্ত প্রান্ত থেকে প্রতিফলিত তরঙ্গ দেখান হল। দেখ, এক্ষেত্রে উভয় তরঙ্গের দশা এক অর্থাৎ প্রতিফলনে দশার কোন পার্থক্য ঘটেনি।

3.14 শব্দ তরঙ্গের প্রতিসরণের পরীক্ষা

(Experiments on refraction of sound)

শব্দতরঙ্গের প্রতিসরণ পরীক্ষার সাহায্যে সহজেই দেখানো যায়। L একটি পাতলা রবারের বেলুন। CO_2 গ্যাসের সাহায্যে একে আংশিক ফোলানো হয়েছে। বেলুনের এক পাশে P একটি শব্দের উৎস; বিপরীত পাশে Q একটি সূক্ষ্ম শব্দগ্রাহক যন্ত্র E কানের সঙ্গে যুক্ত। দেখা যায় যে, বেলুনের সাপেক্ষে উৎসের কোন নির্দিষ্ট অবস্থানে গ্রাহক যন্ত্রকে একটি বিশেষ স্থানে রাখলেই শুধু সাড়া পাওয়া যায়। গ্যাসভর্তি বেলুনকে উত্তল শব্দ-লেন্স (acoustic lens) ধরলে ঐ দুটি অবস্থান হল ঐ লেন্সের যুগ্ম বিন্দু (conjugate foci)। CO_2 বায়ুর চেয়ে ভারি গ্যাস, কাজেই লেন্সটি উত্তল লেন্সের মতো ব্যবহার

চিত্র 32

করে। যদি বায়ুর চেয়ে হাল্কা গ্যাসে বেলুনটি ভর্তি করা হত তবে বাইরে দৃশ্যত উত্তল লেন্সের আকৃতি থাকলেও এটি অবতল লেন্সের মতো কাজ করতো।

3.15 আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন (Total internal reflection)

আলোর ন্যায় শব্দও ঘনতর মাধ্যম (শাব্দিক) থেকে লঘুতর মাধ্যমে যেতে অভিলম্ব থেকে দূরে বেঁকে যায়। কাজেই ঘনতর মাধ্যমে একটি বিশেষ কোণে আপতিত হলে প্রতিসরণ কোণ 90° হতে পারে। ঐ বিশেষ আপতন কোণটি হল সংকট কোণ (Critical angle)। যদি ঘনতর মাধ্যমে আপতন কোন আলোচ্য মাধ্যমদ্বয়ের জন্য নির্দিষ্ট সংকট কোণের চেয়ে বড় হয় তা হলে শব্দ তরঙ্গ আর প্রতিসৃত না হয়ে, প্রতিফলনের নিয়ম মেনে, ঐ

মাধ্যমেই ফিরে আসে। শব্দ তরঙ্গের শক্তি একটুও দ্বিতীয় মাধ্যমে যায় না। এই ঘটনা হল শব্দের **আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন।**

যদি কোন দুই মাধ্যমের পক্ষে সংকট কোণের পরিমাণ θ_c হয় তবে $\sin\theta_c = 1/\mu$; μ হল লঘু মাধ্যমের তুলনায় ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক।

$$\therefore \quad \sin\theta_c = \frac{\text{ঘনতর মাধ্যমে শব্দের বেগ}}{\text{লঘুতর মাধ্যমে শব্দের বেগ}} = \frac{c}{c_1}$$

বায়ু ও জল মাধ্যমদ্বয়ের বেলায় θ_c-এর মান নির্ণয় করা যাক।

শাব্দিক বিবেচনায় বায়ু জলের চেয়ে ঘনতর, c_1-এর মান c-র চেয়ে অনেক বেশি।

c_1 (জলে) $= 1540$ মি/সে. ; c (বায়ুতে) $= 340$ মি/সে.

$\therefore \quad \sin\theta_c = 340/1540 \quad ; \quad \therefore \quad \theta_c = 13{\cdot}5^\circ$

কাজেই জলে $13{\cdot}5^\circ$-র চেয়ে বেশি কোণে শব্দ তরঙ্গ আপতিত হলে তার পূর্ণ প্রতিফলন ঘটবে। এই কারণে জলে ডুব দিয়ে যদি দুজন কথোপকথন চালায় তবে তাদের কথাবার্তা তীরে স্পষ্ট শোনা যায়। আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ধর্ম প্রয়োগ করে 'কথা বলার নল'-এর (speaking tube) সাহায্যে বহুদূর অবধি ভাল কথাবার্তা চালানো যায়।

3. 16 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. জলে শব্দ তরঙ্গের বেগ 4800 ফুট/সেকেণ্ড। জলে শব্দ তরঙ্গের পর্যায়কাল যদি 0·0035 সেকেণ্ড হয় তবে (a) তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং (b) কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

আমরা জানি, $v = n\lambda = \lambda/T$

$\therefore \quad \lambda = vT = 4800 \times 0{\cdot}0035 = \mathbf{16{\cdot}8}$ **ফুট**

এবং $n = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{4800}{16{\cdot}8} = \mathbf{285}$ **কম্পন/সেকেণ্ড**

উদা. 2. একটি মাধ্যম দিয়ে 20 মিটার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তরঙ্গ প্রবাহিত হয়ে গেলে 15 মিটার দূরত্বে অবস্থিত দুটি কণার দশার পার্থক্য কত?

আমরা জানি, দুটি কণার দূরত্ব λ হলে দশার পার্থক্য হয় 2π

$\therefore$ এক্ষেত্রে দশার পার্থক্য $= \dfrac{2\pi}{20} \times 15 = \mathbf{\dfrac{3\pi}{2}}$

উদা. 3. দুটি স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক যথাক্রমে 128 এবং 384 ; ওরা বায়ুতে যে তরঙ্গ সৃষ্টি করে তাদের দৈর্ঘ্য তুলনা কর।

ধর v = বায়ুতে শব্দের বেগ এবং প্রথম ও দ্বিতীয় স্বরশলাকার তরঙ্গদৈর্ঘ্য যথাক্রমে λ_1 ও λ_2 ;

$$\therefore \quad 128 \times \lambda_1 = v = 384 \times \lambda_2$$

$$\therefore \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{384}{128} = \frac{3}{1}$$

উদা. 4. কোন স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক 200। ঐ শলাকা যে শব্দ সৃষ্টি করে তার বেগ 1100 ফু/সে.। পর্যায়কাল ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1966)

বেগ, কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সম্পর্ক হল $v = n\lambda$

$$\therefore \text{ তরঙ্গদৈর্ঘ্য } \quad \lambda = \frac{v}{n} = \frac{1100}{200} = 55 \text{ ফুট}$$

$$\text{পর্যায়কাল} \quad T = \frac{1}{n} = \frac{1}{200} = 0{\cdot}005 \text{ সেকেণ্ড}$$

উদা. 5. স্থির কম্পাঙ্কে কম্পনশীল একটি বস্তু A মাধ্যমে 10 সেমি. দীর্ঘ এবং B মাধ্যমে 15 সেমি. দীর্ঘ তরঙ্গ সৃষ্টি করে। দুই মাধ্যমে তরঙ্গ বেগের তুলনা কর। **(পঃ বঃ উঃ মাঃ 1962)**

ধর, কম্পাঙ্ক $= n$, A মাধ্যমে বেগ $= v_1$ এবং B মাধ্যমে বেগ $= v_2$

$$\therefore \; v_1 = n \times 10 \text{ এবং } v_2 = n \times 15$$

$$\therefore \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{10}{15} = \frac{2}{3}$$

উদা. 6. একটি পাহাড় থেকে লম্বরেখা বরাবর দুই ব্যক্তি A ও B দাঁড়িয়ে আছে। A থেকে B-র দূরত্ব 270 মিটার এবং B র চেয়ে A পাহাড়ের কাছে। A বন্দুক ছুঁড়ে 1 সেকেণ্ড পর প্রতিধ্বনি শুনল। B বন্দুক ছুঁড়লে 1·75 সেকেণ্ড পর A প্রতিধ্বনি শুনল। শব্দের বেগ ও পাহাড় থেকে A-র দূরত্ব নির্ণয় কর।

ধর, x = পাহাড় থেকে A-র দূরত্ব ; e = শব্দের বেগ

যেহেতু A বন্দুক ছুঁড়ে 1 সেকেণ্ড পর প্রতিধ্বনি শুনল,

$$\therefore \quad \frac{x+x}{e} = 1 \qquad \ldots\ldots\ldots(i)$$

আবার, B বন্দুক ছুঁড়লে 1·75 সেকেণ্ড পর A প্রতিধ্বনি শুনল বলে

$$\frac{(270+x)+x}{c}=1.75 \quad ....(ii)$$

(i) ও (ii) সমাধান করে $c=360$ **মিটার/সে.** এবং $x=180$ **মিটার।**

অনুশীলনী

1. তরঙ্গ কি? তরঙ্গ কয় প্রকার? তরঙ্গের প্রধান দুটি বৈশিষ্ট্য কি?

2. চলতরঙ্গ বলতে কি বোঝায়? চলতরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলি বর্ণনা কর।

3. সংজ্ঞা লেখ: তরঙ্গদৈর্ঘ্য, তরঙ্গপাদ, তরঙ্গশীর্ষ, তরঙ্গবেগ, তরঙ্গমুখ।

4. চলতরঙ্গের সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর।

5. তনূভবন ও ঘনীভবন বলতে কি বোঝ? দেখাও যে, বায়ুতে পর্যায়ক্রমিক ঘনীভবন ও তনূভবন সৃষ্টি করে শব্দ বিস্তার লাভ করে।

6. তরঙ্গশীর্ষ ও তরঙ্গপাদ কি? লেখচিত্রের সাহায্যে তির্যক তরঙ্গের উৎপত্তি ও বিস্তার ব্যাখ্যা কর।

7. তরঙ্গের বেগ, কম্পাঙ্ক ও দৈর্ঘ্যের পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় কর।

8. 3π দূরত্বে অবস্থিত চলতরঙ্গ উৎপাদনকারী দুটি কণার দোলগতির দশার পার্থক্য কত? [$3\lambda/2$]

9. জলে ঢিল ছোঁড়ার ফলে উৎপন্ন তরঙ্গ তির্যক তরঙ্গ। ফলে জলে ভাসমান একটি কর্ক তরঙ্গের সঙ্গে ওঠা-নামা করে কিন্তু পাশাপাশি চলে না। কিন্তু জলে ফুটবল পড়লে ঢিল ছুঁড়ে ছুঁড়ে তাকে তীরে আনা যায়। ঘটনাটি কি ভাবে ব্যাখ্যা করবে?

10. প্রমাণ কর যে, আলোর ন্যায় শব্দও প্রতিফলিত হয়। শব্দের প্রতিফলনের একটি ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখাও।

11. প্রতিধ্বনি কি? কিরূপে সৃষ্টি হয়? একমাত্রিক, দ্বিমাত্রিক ও ত্রিমাত্রিক শব্দের ক্ষেত্রে প্রতিধ্বনির জন্য কিরূপ নিম্নতম দূরত্বের দরকার আলোচনা কর।

12. ঘরে সাধারণ কথোপকথনের প্রতিধ্বনি শোনা যায় না। অথচ বড় হলঘরে প্রতিধ্বনি কথোপকথনে বাধার সৃষ্টি করে। ব্যাখ্যা কর।

13. প্রতিধ্বনির সাহায্যে কি ভাবে সমুদ্রের গভীরতা মাপা যায়?

14. কোন মাধ্যমে শব্দতরঙ্গের বেগ 5000 ফুট/সে.। ঐ মাধ্যমে শব্দ তরঙ্গের পর্যায়কাল 0·0025 সেকেণ্ড। তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত? [12·5 ফুট]

15. ভিন্ন কম্পাঙ্কের দুটি সুরশলাকা দ্বারা উৎপন্ন শব্দতরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুপাত সুরশলাকা দুটির কম্পাঙ্কের ব্যস্ত অনুপাত—প্রমাণ কর।

16. কোন সুরশলাকার কম্পাঙ্ক 400 ; বায়ুতে শব্দের বেগ 320 মি/সে.। সুরশলাকার 30 বার কম্পন শেষ হতে যে সময় লাগে সেই সময়ে শব্দ কতদূর যাবে? [24 মিটার]

17. বায়ুতে শব্দের বেগ 1120 ফু/সে.। 264 কম্পাঙ্কের সুরশলাকার কয়টি কম্পন শেষ হলে ঐ শব্দ 154 ফুট দূরে শোনা যাবে? [36 ফুট]

18. একটি সুরশলাকা কোন মাধ্যমে 3 সেমি. দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ উৎপন্ন করে এবং ঐ মাধ্যমে 330 মি/সে. বেগে চলে। অন্য একটি মাধ্যমে সুরশলাকা যখন 55টি কম্পন শেষ করে তখন ঐ শব্দ কতদূর যাবে। দ্বিতীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ 300 মি/সে.। [150 সেমি.]

19. বায়ুতে কম্পিত হয়ে কোন সুরশলাকা 1·5 মিটার দীর্ঘ তরঙ্গ উৎপন্ন করে। ঐ তরঙ্গের বেগ 330 মি/সে.। উৎপন্ন শব্দের পর্যায়কাল ও কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [0·0045 সে. ; 220]

20. একটি কম্পমান সুরশলাকা বায়ুতে 100·6 সেমি. দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ উৎপন্ন করে। ঐ সুরশলাকা হাইড্রোজেনে 382·4 সেমি. দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ উৎপন্ন করে। বায়ুতে শব্দের বেগ সেকেণ্ডে 332 মিটার হলে হাইড্রোজেনে শব্দের বেগ নির্ণয় কর। (বিশ্বভারতী 1955) [1261 8 মি./সে.]

21. একটি পাহাড় থেকে কিছু দূরে দণ্ডায়মান এক ব্যক্তি শব্দ করে 2 সেকেণ্ড পরে তার প্রতিধ্বনি শুনল। পাহাড় থেকে ব্যক্তির দূরত্ব কত? বায়ুতে শব্দের বেগ = 320 মি/সে.। (পঃ বঃ উঃ মাঃ) [320 মি.]

22. একটি প্রতিধ্বনি ছটি পদাংশের পুনরাবৃত্তি করল। প্রতিফলকের দূরত্ব কত? শব্দের বেগ 1120 ফু/সে.। [672 ফুট]

23. পাহাড় ঘেরা একটি সুড়ঙ্গের দিকে যেতে যেতে আধ মাইল দূর থেকে একটি ট্রেন বাঁশি বাজাল। 4·5 সেকেণ্ড পর প্রতিধ্বনি ইঞ্জিনে পৌঁছল। ট্রেনের বেগ 50 মাইল/ঘণ্টা হলে শব্দের বেগ কত? [1100 ফুট/সে.]

24. দুটি দীর্ঘ সমান্তরাল অট্টালিকার সারির মাঝখান দিয়ে একটি রাস্তা গেছে। 36 কিমি/ঘ. বেগে এক মোটর চালক হর্ন বাজাল। এর 1 সেকেণ্ড পর প্রতিধ্বনি শুনল। অট্টালিকা সারি দুটির মধ্যে ব্যবধান কত? কখন সে দ্বিতীয় প্রতিধ্বনি শুনবে? শব্দের বেগ 330 মি/সে.।

4. 1 তরঙ্গের উপরিপাত (Superposition of waves)

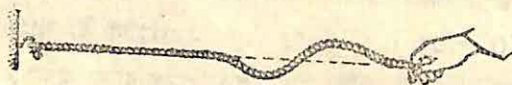
কোন মাধ্যম দিয়ে তরঙ্গ গেলে তরঙ্গপথের কণাগুলি সরল দোলগতি সম্পাদন করে কিন্তু কোন মাধ্যম দিয়ে এক সঙ্গে যদি একাধিক তরঙ্গ প্রবাহিত হয় তাহলে তরঙ্গপথের কণাগুলি একই সঙ্গে একাধিক দোলগতির অধীন হবে। ফলে যে কোন মুহূর্তে কোন কণার সরণ হবে পৃথক পৃথক তরঙ্গজাত তাৎক্ষণিক সরণগুলির বীজগাণিতিক যোগফল। এই নীতিকে তরঙ্গের **উপরিপাতের নীতি** (Principle of superposition) বলা হয়।

মনে কর, একটি তরঙ্গের দরুন মাধ্যমের কোন এক বিন্দুতে কোন এক সময়ে সরণ y_1 এবং ঐ সময়ে দ্বিতীয় তরঙ্গের দরুন ঐ বিন্দুতে সরণ y_2 ; তাহলে যুগপৎ ঐ দুই তরঙ্গের প্রভাবে ঐ বিন্দুতে সরণ হবে $y_1 \pm y_2$ ।

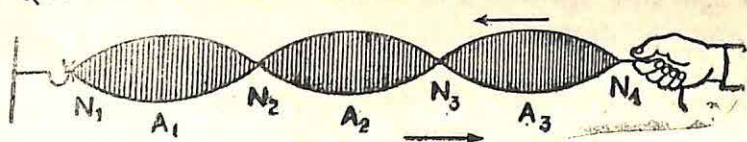
y_1 এবং y_2 সরণ দুটি যদি একই দিকে হয় তবে ধনাত্মক চিহ্ন এবং বিপরীত দিকে হলে ঋণাত্মক চিহ্ন কার্যকর হবে।

4. 2 স্থাণু তরঙ্গ (Stationary waves)

চলতরঙ্গ বিস্তৃত মাধ্যমে বিনা বাধায় অগ্রসর হয়। কিন্তু কোন সীমাবদ্ধ মাধ্যমে অগ্রসর হওয়ার সময় ঐ তরঙ্গ যদি বাধা পায়, তাহলে তরঙ্গটি প্রতিবন্ধক থেকে প্রতিফলিত হয়ে ফিরে আসে। অগ্রগামী তরঙ্গ ও প্রতিফলিত তরঙ্গের উপরিপাতে এক ধরণের বিশেষ তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। একে বলা হয় **স্থাণু তরঙ্গ**।

স্থাণু তরঙ্গের উৎপত্তি নিম্নবর্ণিত পরীক্ষার সাহায্যে সহজে দেখানো যায়। একটি তারের এক প্রান্ত দৃঢ়ভাবে আটকে অন্যপ্রান্ত আড়াআড়ি বা উপর-নিচে

চিত্র 33

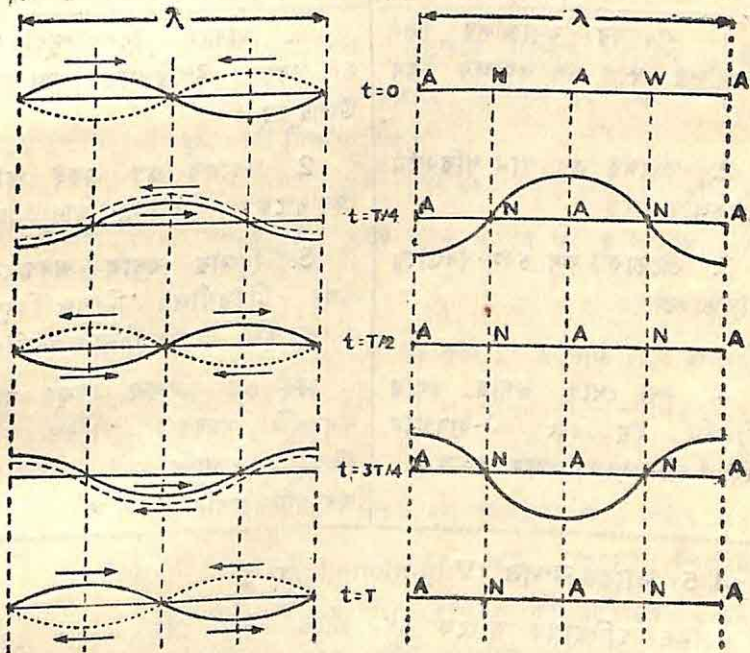
ঝাঁকুনি দিলে একটি তরঙ্গ ঐ তার বেয়ে অগ্রসর হয় ও বদ্ধপ্রান্তে প্রতিফলিত হয়ে পুনরায় ফিরে আসে। তারে ঝাকুনি দেওয়া যদি বজায় থাকে তবে এই

N_1 A_1 N_2 A_2 N_3 A_3 N_4

চিত্র 34

প্রতিফলিত-তরঙ্গ ও অগ্রগামী তরঙ্গের উপরিপাতে স্থাণু তরঙ্গ উৎপন্ন হবে। স্থাণু

তরঙ্গ উৎপন্ন হলে তরঙ্গ তার বেয়ে আর অগ্রসর হয় না অর্থাৎ তারের বিভিন্ন অংশ পর্যায়ক্রমে সর্বাধিক বিস্তার লাভ করে না। তারের কতকগুলি বিন্দুর, যেমন N_1, N_2, N_3, N_4 ইত্যাদি, প্রকৃতপক্ষে কোন দোলনই হয় না অর্থাৎ তারা স্থাণু। অন্যদিকে A_1, A_2, A_3 বিন্দুগুলির স্পন্দন সর্বদাই সর্বাধিক হয়। স্থাণু তরঙ্গের যে বিন্দুগুলি একেবারে স্পন্দনহীন তাদের **নিস্পন্দ বিন্দু** (Nodes) এবং যে বিন্দুগুলির স্পন্দন সর্বাধিক তাদের **সুস্পন্দ বিন্দু** (Antinodes) বলা হয়। স্থাণু তরঙ্গ শব্দ তরঙ্গের উপরিপাতের প্রকৃষ্ট উদাহরণ।

4.3 লেখচিত্রের সাহায্যে স্থাণু তরঙ্গের উৎপত্তি ব্যাখ্যা (Explanation of stationary waves by graphs)

একই বিস্তার, পর্যায়কাল এবং বেগযুক্ত দুই বিপরীতমুখী চলতরঙ্গকে যথাক্রমে টানা ও ভাঙা লাইন দিয়ে চিত্রে দেখানো হয়েছে। যখন তরঙ্গ দুটি ঠিক বিপরীত দশায় পরস্পর উপরিপাতিত, মনে কর, তখন থেকে সময় গোনা শুরু হল।

চিত্র 35

সুতরাং যখন $t=o$, তখন তরঙ্গ দুটি সম্পূর্ণ বিপরীত দশায় উপরিপতিত বলে প্রত্যেক কণার লব্ধি সরণ শূন্য। কিন্তু যখন $t=T/4$, অর্থাৎ পর্যায়কালের এক-চতুর্থাংশ পরে, দুটি তরঙ্গই নিজ নিজ গতির অভিমুখে $\lambda/4$ দৈর্ঘ্য অগ্রসর হবে।

তাদের উপরিপাতে লব্ধি তরঙ্গের ছবি 35নং চিত্রে ডানপাশে রেখার সাহায্যে দেখানো হয়েছে। আরো $T/4$ সময় পরে অর্থাৎ $t=T/2$ সময়ে তরঙ্গ দুটি আবার সম্পূর্ণ বিপরীত দশায় উপরিপাতিত হবে। এভাবে $3T/4$ এবং $4T/4$ বা $t=T$ সময়ে অবস্থা কি রকম হবে তা চিত্রে দেখানো আছে।

লক্ষ্য করলে দেখা যাবে যে, একটি পূর্ণ পর্যায়কাল ধরে N চিহ্নের বিন্দুগুলির কোন সরণ হয় না অর্থাৎ এগুলি **নিস্পন্দ বিন্দু**। অপর দিকে A চিহ্নিত বিন্দুগুলির সর্বাধিক সরণ হয় ; এগুলি **সুস্পন্দ বিন্দু**।

চিত্র থেকে আরও দেখা যাবে যে, দুটি পাশাপাশি নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব $\lambda/2$ এবং দুটি পাশাপাশি সুস্পন্দ বিন্দুর দূরত্বও $\lambda/2$।

4. 4 স্থাণু তরঙ্গ ও চল তরঙ্গের পার্থক্য
(Stationary vs. progressive waves)

চল তরঙ্গ	স্থাণু তরঙ্গ
1. মাধ্যমের কণাগুলির সরল দোলগতির ফলে চল তরঙ্গের উদ্ভব হয়।	1. মাধ্যমে বিপরীতমুখী দুই চল তরঙ্গের উপরিপাতে স্থাণু তরঙ্গ উৎপন্ন হয়।
2. তরঙ্গের রূপ স্থান পরিবর্তন করে চলতে থাকে।	2. তরঙ্গের রূপ একই স্থানে স্থির থাকে। এজন্য নাম স্থাণু তরঙ্গ।
3. প্রত্যেকটি কণা চরম বিস্তারে স্পন্দিত হয়।	3. বিস্তার কণার অবস্থানের উপর নির্ভরশীল। নিস্পন্দ বিন্দুতে বিস্তার শূন্য, সুস্পন্দ বিন্দুতে সর্বাধিক।
4. কণা থেকে কণায় দশার পরিবর্তন হয় এবং λ-ব্যবধানে অবস্থিত দুটি কণা সমদশায় থাকে।	4. দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে কণাগুলি সমদশায় স্পন্দিত হয়। কিন্তু, পাশাপাশি দুটি কুজাংশের কণাগুলির দশার পার্থক্য π।

4. 5 তারের কম্পন (Vibration of strings)

কোনও স্থিতিস্থাপক তারকে দুই প্রান্তে বেঁধে টান অবস্থায় রেখে তার মধ্যে কম্পন উৎপন্ন করা যায়। এই কম্পন অনুদৈর্ঘ্য বা তির্যক দু-রকমই হতে পারে। রজনে ঘষা একটি চামড়া দিয়ে তারটিকে কোন স্থানে ধরে দৈর্ঘ্যের সমান্তরাল ভাবে টেনে দিলে তারে **অনুদৈর্ঘ্য কম্পন** উৎপন্ন হয়। আর তারের **তির্যক কম্পন** নানাভাবে উৎপন্ন হতে পারে। তারটিকে দৈর্ঘ্যের

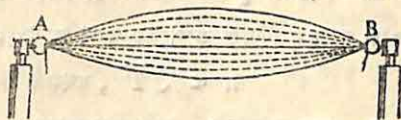
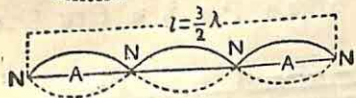
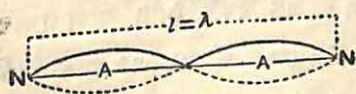
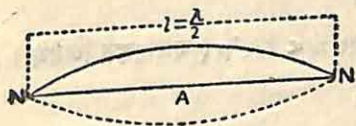
আড়াআড়ি টেনে ছেড়ে দিলে তির্যক কম্পন উৎপন্ন হয়, তারটিকে আঘাত করলেও তির্যক কম্পন উৎপন্ন হয়। সেতার, গীটার ইত্যাদিতে প্রথম পদ্ধতিতে এবং পিয়ানোতে দ্বিতীয় পদ্ধতিতে তির্যক কম্পন উৎপন্ন করা হয়।

4. 6 তারের তির্যক কম্পনের বৈশিষ্ট্য

(Characteristics of transverse vibration)

কম্পনশীল কোন তারের দুই প্রান্ত A ও B স্থির। সুতরাং তারে উৎপন্ন তরঙ্গ দুই প্রান্তে প্রতিফলিত হয়ে স্থাণু তরঙ্গ উৎপন্ন করে।

দুই প্রান্ত স্থির বলে **প্রান্তদ্বয় সর্বদাই নিস্পন্দ বিন্দু।**

একই দৈর্ঘ্যের তার এক বা একাধিক কুজ্বাংশে কম্পিত হতে পারে। ফলে তরঙ্গদৈর্ঘ্য পৃথক পৃথক হয়। তারটি যখন একটি মাত্র কুজ্বাংশে কম্পিত হয় তখন $\lambda=2l$; $l=$তারের দৈর্ঘ্য। এক্ষেত্রে তারের মধ্যবিন্দু একটি সুস্পন্দ বিন্দু। কিন্তু ঐ তার যখন দুটি কুজ্বাংশে কম্পিত হয় তখন $\lambda=l$; এক্ষেত্রে তারের মধ্যবিন্দুটি একটি নিস্পন্দ বিন্দু।

চিত্র 36

চিত্র 37

তার যখন একটি কুজ্বাংশে কম্পিত হয় তখন উৎপন্ন সুরের কম্পাঙ্ক হল

$$n_1=\frac{v}{\lambda_1}=\frac{v}{2l} \;;\quad v=\text{তরঙ্গ বেগ।}$$

দুই কুজ্বাংশে কম্পিত তারে কম্পাঙ্ক

$$n_2=\frac{v}{\lambda_2}=\frac{v}{l}=2n_1$$

কোনো তারের কম্পনের সময় বস্তুত মূল সুরের সঙ্গে (অর্থাৎ n_1 কম্পাঙ্কের সঙ্গে) অন্যান্য উপসুর (overtoness) বা সমমেল (harmonics) কম্পনও বর্তমান থাকে; যেমন n_2 কম্পাঙ্কের সুর n_1 কম্পাঙ্কের সুরের **প্রথম সমমেল** (first harmonic)।

4. 7 তারে তির্যক কম্পনের সূত্রাবলী

(Laws of transverse vibrations)

l দৈর্ঘ্যের কোন তারের উপর T টান ক্রিয়াশীল হলে ঐ তারের তির্যক

কম্পনের ফলে উদ্ভূত মূল সুরের কম্পাঙ্ক n নিম্নলিখিত সমীকরণের দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}\ ;$$ m হল তারটির একক দৈর্ঘ্যের ভর।

দেখা যায় যে, l, T এবং m এই তিন রাশির উপর কম্পাঙ্ক নির্ভরশীল।

1. দৈর্ঘ্যের সূত্র : টান করা কোনও তারের টান অপরিবর্তিত থাকলে তির্যক কম্পনের কম্পাঙ্ক ঐ তারের দৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক, অর্থাৎ

$n \propto 1/l$, যখন T ও m ধ্রুবক।

2. টানের সূত্র : টান করা কোন তারের কম্পনশীল দৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত থাকলে তারের তির্যক কম্পনের কম্পাঙ্ক টানের বর্গমূলের সমানুপাতিক, অর্থাৎ

$n \propto \sqrt{T}$, যখন l ও m ধ্রুবক।

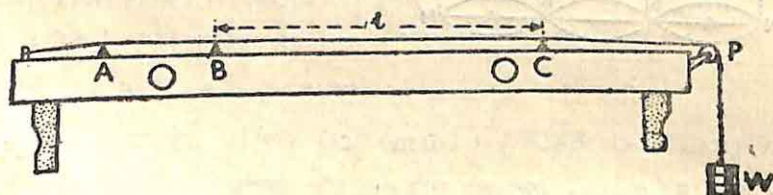
3. ভরের সূত্র : টান করা তারের দৈর্ঘ্য ও টান নির্দিষ্ট থাকলে তারের তির্যক কম্পনের কম্পাঙ্ক তারের একক দৈর্ঘ্যের ভরের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ $n \propto 1/\sqrt{m}$, যখন T ও l ধ্রুবক।

যেহেতু $m=\pi r^2\rho$ ($r=$তারের ব্যাসার্ধ, $\rho=$তারের ঘনাঙ্ক), অতএব

$$n=\frac{1}{2lr}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho}}$$

কাজেই $n \propto 1/r$ (**ব্যাসার্ধের নিয়ম**) এবং $n \propto 1/\sqrt{\rho}$ (**ঘনাঙ্কের নিয়ম**)।

4.8 সোনোমিটার (Sonometer)

নীচে একটি সোনোমিটার চিত্রায়িত হল। এটি একটি ফাঁপা আয়তাকার কাঠের বাক্স। বাক্সের উপর একটি তার আটকানো। তারের এক প্রান্ত একটি খুঁটির সঙ্গে বাঁধা এবং অন্যপ্রান্ত একটি কপিকল P-র উপর দিয়ে গিয়ে

চিত্র 38

একটি হুকের সঙ্গে যুক্ত হয়েছে। হুকে ভার W চাপালে তারে টান প্রযুক্ত হয়। তারের নিচে তিনটি প্রিজমাকৃতি কাঠের সেতু A, B ও C আছে। মাঝখানের

সেতু B সরিয়ে তারের কম্পনশীল দৈর্ঘ্য হ্রাসবৃদ্ধি করা যায়। B ও C সেতুর মধ্যবর্তী অংশের l দৈর্ঘ্যযুক্ত তারকে টেনে ছেড়ে দিলে তারে তির্যক কম্পন উৎপন্ন হয়।

সোনোমিটারের সাহায্যে তির্যক কম্পনের সূত্রগুলির সত্যতা প্রতিষ্ঠিত করা যায় এবং অজ্ঞাত সুরশলাকার কম্পাঙ্কও নির্ণয় করা চলে।

4.9 তির্যক কম্পনের সূত্রগুলির সত্যতা পরীক্ষা (Verification of the laws of transverse vibrations)

(1) **দৈর্ঘ্যের নিয়ম পরীক্ষা :** সুবিধামত ভারের সাহায্যে সোনোমিটার তারটি টান কর। এক টুকরো কাগজ V আকারে ভাঁজ করে দুটি সেতুর মধ্যবর্তী তারের উপর রাখ। জানা-কম্পাঙ্কের সুরশালাকা কম্পিত করে হাতলটি V কাগজের সম্মুখে সোনোমিটারের বাক্সের উপর চেপে ধর। শলাকার কম্পন তারে সঞ্চারিত হবে এবং তারটি পরবশ তির্যক কম্পনে কাঁপবে।

এ অবস্থায় V আকারের কাগজটির দু-পাশের সেতুর দূরত্ব কমিয়ে-বাড়িয়ে এমন কর যে, তারের পরবশ কম্পনে কাগজটি সজোরে ছিটকে পড়ে। এখন সোনোমিটারের তার সুরশলাকার কম্পাঙ্কে কম্পিত হচ্ছে। অর্থাৎ সোনোমিটারের তারের কম্পাঙ্ক সুরশলাকার কম্পাঙ্কের সমান।

জানা কম্পাঙ্কের তিন-চারটি সুরশলাকা নিয়ে এই পরীক্ষা করে প্রত্যেক ক্ষেত্রে সোনোমিটারের অনুনাদী তারের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

সুরশলাকাগুলির কম্পাঙ্ক যদি n_1, n_2, n_3···ইত্যাদি হয় এবং সোনোমিটারের সমসুর উৎপাদনকারী দৈর্ঘ্য যদি l_1, l_2, l_3...ইত্যাদি হয় তবে দেখ যে, $n_1l_2 = n_2l_1 = n_3l_3 = \cdots =$ ধ্রুবক। অর্থাৎ T ও m অপরিবর্তিত থাকলে

$$n \propto \frac{1}{l}$$

স্পষ্টত n বনাম $1/l$ লেখ একটি সরলরেখা হবে।

(2) **টানের নিয়মের পরীক্ষা :** টানের নিয়ম পরীক্ষা করার জন্য সোনোমিটারের তারের পাশে আর একটি তার আটকে নেওয়া হয়। প্রথম তারটিকে **পরীক্ষাধীন তার** (experimental wire) ও দ্বিতীয় তারটিকে **সহায়ক তার** (auxilliary wire) বলা হয়। তার দুটি সর্ব বিষয়ে একই রকম।

পরীক্ষাধীন তারটির একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য ঠিক করে তাতে T_1 ভার চাপাও। T_1 ভারের দরুন পরীক্ষাধীন তার যে সুর উৎপন্ন করে সহায়ক

তারের কোন্ দৈর্ঘ্য যে কোন ভাবে সেই স্বর উৎপন্ন করে তা নির্ণয় কর। ধর, এই দৈর্ঘ্য l_1।

এবার পরীক্ষাধীন তারটির ভার T_2 কর। টান বদলানো হল বলে এর স্বরের পরিবর্তন ঘটবে। এ অবস্থায় সহায়ক তারের পূর্ব ভার পরিবর্তন না করে পরীক্ষাধীন তারের নতুন স্বরের সমস্বর উৎপন্ন করতে সহায়ক তারের কত দৈর্ঘ্য প্রয়োজন তা নির্ণয় কর। ধর, এই দৈর্ঘ্য l_2।

দেখা গেল, $$\frac{l_2^2}{l_1^2}=\frac{T_1}{T_2}$$

কিন্তু নির্দেশক তারের টান অপরিবর্তিত থাকায় $\frac{n_1}{n_2}=\frac{l_2}{l_1}$

সুতরাং $$\frac{n_1^2}{n_2^2}=\frac{l_2^2}{l_1^2}=\frac{T_1}{T_2}$$

অর্থাৎ $$n \propto \sqrt{T}$$

স্পষ্টত $\log T$ বনাম $\log n$ লেখটি একটি সরলরেখা হবে। এর নতি (slope)$=\frac{1}{2}$।

(3) **ভরের নিয়ম পরীক্ষা :** এই পরীক্ষার জন্য সহায়ক তার ছাড়া একটি মোটা ও একটি সরু তার নাও।

প্রথমে সহায়ক তার ও মোটা তারটি (পরীক্ষাধীন তার) সোনোমিটারে আটকে সমান ভার দিয়ে তাদের টান কর। পরীক্ষাধীন তারের একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য নিয়ে সহায়ক তারের সেতুর অবস্থান কমিয়ে-বাড়িয়ে এমন একটি দৈর্ঘ্য l_1 নির্ণয় কর যেন দুটি তারের কম্পন সমস্বর হয়।

এবার মোটা তারটি বদলে সরু তারটি সোনোমিটারে আটকাও এবং তাতে আগের সমান ভার চাপাও ; কিন্তু তারের নিচে সেতুর ব্যবধান মোটা তারের সমান রাখ। সরু তারটিতে পৃথক কম্পাঙ্কের স্বর উৎপন্ন হবে। এখন সহায়ক তারের সেতু-দূরত্ব আবার কমিয়ে-বাড়িয়ে এমন কর যে, তার দুটির কম্পন সমস্বর হয়।

মোটা ও সরু তার দুটির দৈর্ঘ্য এবং ভর নির্ণয় কর। তা থেকে তাদের একক দৈর্ঘ্যের ভর m_1 এবং m_2 বের কর। দেখ যে,

$$\frac{l_1^2}{l_2^2}=\frac{m_1}{m_2}$$

কিন্তু সহায়ক তারের টান অপরিবর্তিত ছিল বলে

$$\frac{n_1}{n_2}=\frac{l_2}{l_1}$$

সুতরাং
$$\frac{n_1^2}{n_2^2}=\frac{l_2^2}{l_1^2}=\frac{m_2}{m_1} \quad \therefore \quad n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$$

স্পষ্টত $\log n$ বনাম $\log m$ এর লেখ একটি সরলরেখা। এর নতি $= -\frac{1}{2}$.

4.10 সোনোমিটারের সাহায্যে স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় (Determination of frequeney by sonometer)

সোনোমিটারের সাহায্যে স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

একটি সনোমিটার নিয়ে তার প্রান্তে একটি ভার চাপাও। এবার স্বর-শলাকাকে কম্পিত করে সোনোমিটারের উপর চেপে ধর। সোনোমিটার তারের এমন দৈর্ঘ্য l নির্ণয় কর যেন তার ও স্বরশলাকা সমস্বর হয়। এবার তারের দৈর্ঘ্য এবং ভর নির্ণয় করে তা থেকে প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর m নির্ণয় কর।

ধর, তার টান করার জন্য M কিলোগ্রাম ভর চাপানো হয়েছিল। কাজেই এক্ষেত্রে $T=M\times1000\times980$

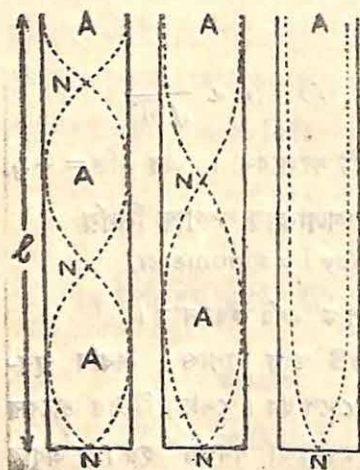
$$\therefore \quad n=\frac{l}{2l}\sqrt{\frac{M\times1000\times980}{m}}$$

4.11 বায়ুস্তম্ভের কম্পন (Vibration of air columns)

কোন আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভকে কম্পিত করলে তা থেকে শ্রুতিসুখকর শব্দের উদ্ভব হয়। কাচের শিশি, চাবির খোলামুখ অথবা শাঁখে ফুঁ দিলে সুরেলা শব্দ উৎপন্ন হয়। নানাপ্রকার নলাকৃতি বাদ্যযন্ত্রে বায়ুস্তম্ভের কম্পনকে কাজে লাগানো হয়। আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভে উদ্ভূত শব্দের কম্পাঙ্ক স্তম্ভের দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। এই ধরনের কম্পন সৃষ্টি করার জন্য সাধারণত দু'প্রকার নল ব্যবহার করা হয়: (i) একমুখ খোলা এবং একমুখ বন্ধ নল; একে বলা হয় **বদ্ধ নল** (closed pipe) এবং (ii) দুই মুখ খোলা নল; একে বলা হয় **খোলা নল** (open pipe)।

4.12 বদ্ধ বায়ুনলে কম্পন (Vibration in closed pipes)

কোন বদ্ধ নলের খোলামুখে অর্থাৎ A মুখে ফুঁ দিলে একটি অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বায়ুস্তম্ভের মধ্য দিয়ে অগ্রসর হয়। বদ্ধ মুখে প্রতিফলিত হয়ে তরঙ্গ

আবার A মুখের দিকে ফিরে আসে। এই প্রতিফলিত তরঙ্গ এবং বদ্ধ মুখের দিকে অগ্রসরমান নতুন তরঙ্গের (অর্থাৎ দুই বিপরীতমুখী তরঙ্গের) উপরিপাতনের ফলে স্থাণু তরঙ্গের সৃষ্টি হয়।

নলের N মুখ বন্ধ থাকায় ঐ স্থানের বায়ুকণা স্পন্দন-ক্ষম নয়। ঐ স্থানে একটি নিস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হয়। পক্ষান্তরে, A মুখ খোলা থাকায় ঐ স্থানের বায়ুকণা সর্বাধিক স্পন্দনের সুবিধা পায় এবং ঐ স্থানে একটি সুস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি হয়।

মূল কম্পনের সঙ্গে অনেকগুলি সমমেল উপস্থিত থাকে। বদ্ধ নলে উৎপন্ন মূল সুর এবং বিভিন্ন উপসুরগুলি নিম্নরূপ।

চিত্র 41

মূল কম্পন (Fundamental vibration) : বদ্ধ নলের বায়ুস্তম্ভের বদ্ধমুখে যখন একটি নিস্পন্দ বিন্দু এবং খোলামুখে একটি সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হয়ে স্থাণু তরঙ্গের সৃষ্টি হয়, তখন উৎপন্ন সুরকে **মূল সুর** (fundamental) বলা হয়।

আমরা জানি, নিকটতম নিস্পন্দ এবং সুস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব স্থাণু তরঙ্গের দৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ। মূল সুর উৎপাদনকালে বদ্ধ নলে যে তরঙ্গ সৃষ্ট হয় তার দৈর্ঘ্য λ_1 এবং নলের দৈর্ঘ্য l হলে

$$\frac{\lambda}{4}=AN=l,$$ এখানে l নলের দৈর্ঘ্য।

$\therefore\ \lambda_1=4l$; $\therefore$ মূল সুরের কম্পাঙ্ক $n_1=\frac{v}{\lambda_1}=\frac{v}{4l}$

কম্পনের দ্বিতীয় ধরন (Second mode of vibration) : এ ক্ষেত্রে বদ্ধমুখে একটি নিস্পন্দ বিন্দু এবং খোলামুখে একটি সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হয়। কিন্তু এই দুই বিন্দুর মধ্যে আরো একটি করে সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দু থাকে। বায়ুস্তম্ভে উৎপন্ন তরঙ্গের দৈর্ঘ্য যদি λ_2 এবং নলের দৈর্ঘ্য l হয় তবে

$$l=\frac{3}{4}\lambda_2 \quad \text{অর্থাৎ } \lambda_2=\frac{4l}{3}$$

সুতরাং উৎপন্ন উপসুরের কম্পাঙ্ক $n_2=\frac{v}{\lambda_2}=\frac{3v}{4l}=3n_1$

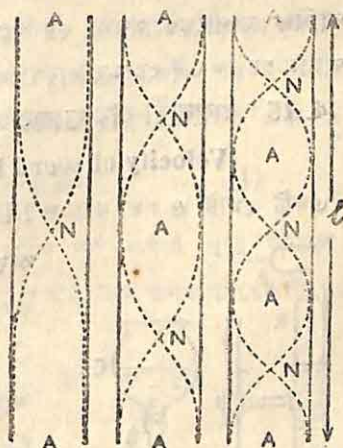
কম্পনের তৃতীয়, চতুর্থ, ইত্যাদি উচ্চতর ধরন (Third, fourth etc. higher modes of vibration): বদ্ধ নলের বায়ুস্তম্ভ তৃতীয়, চতুর্থ, পঞ্চম ইত্যাদি উচ্চতর ধরনেও কম্পিত হতে পারে। নলে তখন যথাক্রমে তিন, চার, পাঁচ ইত্যাদি সংখ্যক নিস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন স্বরের কম্পাঙ্ক যদি n_3, n_4, n_5 ইত্যাদি হয়, তবে দেখা যায় যে,

$$n_3 = 5n_1 \; ; \; n_4 = 7n_1 \; ; \; n_5 = 9n_1 \cdots \text{ইত্যাদি।}$$

কাজেই বদ্ধ নলে উৎপন্ন মূল স্বর এবং উপস্বরগুলির কম্পাঙ্কের অনুপাত স্বাভাবিক বিজোড় সংখ্যা অর্থাৎ 1, 3, 5, 7, 9 ইত্যাদির অনুপাতের সমান।

4.13 খোলা নলে কম্পন (Vibration in an open pipe)

নলের দুই মুখই যদি খোলা থাকে তবে ঐ দুই মুখে সর্বদাই দুটি সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হবে। কম্পন সৃষ্টিকারী তরঙ্গের দৈর্ঘ্য অনুযায়ী এই দুই সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে এক, দুই, তিন ইত্যাদি সংখ্যক নিস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হয়।

কম্পনের প্রথম ধরন বা মূল স্বর: খোলানলে আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভ যখন দুই প্রান্ত দুটি সুস্পন্দ বিন্দু এবং তাদের মধ্যে একটি নিস্পন্দ বিন্দু নিয়ে কম্পিত হয় তখন যে স্বর উৎপন্ন হয় তাকে মূল স্বর বলে।

চিত্র 42

খোলা নলের দৈর্ঘ্য l এবং মূল স্বর উৎপাদনকারী তরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ_1 এবং কম্পাঙ্ক n_1 হলে চিত্র অনুযায়ী

$$l = \frac{2\lambda_1}{4} = \frac{\lambda_1}{2} \quad \therefore \; \lambda_1 = 2l$$

$$\text{অতএব কম্পাঙ্ক } n_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2l}$$

দ্বিতীয় ধরন: খোলা নল যখন দ্বিতীয় ধরনে কম্পিত হয় তখন দুই প্রান্তে দুটি সুস্পন্দ বিন্দু ছাড়াও ভিতরে আরো একটি সুস্পন্দ বিন্দু এবং দুটি নিস্পন্দ বিন্দু থাকে। সংশ্লিষ্ট তরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ_2 হলে, $\lambda_2 = l$।

$$\text{উৎপন্ন উপস্বরের কম্পাঙ্ক } n_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{l} = 2n_1$$

তৃতীয় ধরন ঃ একই ভাবে দেখানো যায় যে, তৃতীয় ধরনে কম্পিত খোলা নলে উৎপন্ন উপসুরের কম্পাঙ্ক $n_3 = 3v/2l = 3n_1$ হয়।

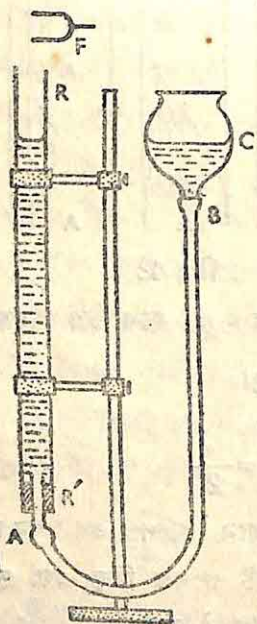
খোলা নলে উৎপন্ন মূল সুর এবং উপসুরগুলির কম্পাঙ্কের অনুপাত স্বাভাবিক সংখ্যার অর্থাৎ 1, 2, 3 ইত্যাদির অনুপাতের সমান।

বদ্ধ নল ও খোলা নলের তুলনা ঃ বদ্ধ নলে মূল সুরের সঙ্গে বিজোড় সমমেলগুলি কেবল উপস্থিত থাকে, কিন্তু খোলা নলে জোড় ও বিজোড় উভয় সমমেলই উপস্থিত থাকে। ফলে খোলা নলের সুর বেশি শ্রুতিসুখকর।

4. 14 অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ (Resonating air column)

কোন নলের আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য অনুযায়ী একটি নিজস্ব কম্পাঙ্ক থাকে। ঐ নলের মুখে একটি কম্পমান সুরশলাকা রাখলে সুরশলাকার কম্পন বায়ুতে পরবশ কম্পন উৎপন্ন করে। এই পরবশ কম্পনের কম্পাঙ্ক যদি বায়ুস্তম্ভের স্বাভাবিক কম্পাঙ্কের সমান হয় তবে অনুনাদের দরুন বায়ুস্তম্ভ প্রবলভাবে কম্পমান হয়। এই ধরনের ব্যবস্থাকে **অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ** বলে।

4. 15 অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের সাহায্যে শব্দের বেগ নির্ণয় (Velocity of sound by resonating air column)

একটি মোটা ও লম্বা কাচনল RR´ নাও। দুই-তৃতীয়াংশের মতো জলপূর্ণ করে একটি রবার নল AB-র সাহায্যে একটি জলপাত্র C-র সঙ্গে কাচ নলটি যুক্ত কর। C পাত্রটির অবস্থান পরিবর্তন করে কাচ নলে আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য কম-বেশি করা যায়। নিচের জল RR´ নলকে বদ্ধ নলে পরিণত করে।

চিত্র 43

একটি সুরশলাকা F-কে কম্পিত করে RR′-র উপর ধরে C-র অবস্থান পাল্টালে এক সময় জোর শব্দ শোনা যাবে। এর অর্থ বায়ুস্তম্ভে অনুনাদ সৃষ্টি হয়েছে। এই অবস্থায় সুরশলাকার কম্পাঙ্ক এবং বায়ুস্তম্ভের কম্পাঙ্ক সমান। বায়ুস্তম্ভের ন্যূনতম দৈর্ঘ্যে যখন এই অনুনাদ সৃষ্টি হয় তখন বায়ুস্তম্ভে মূল সুর উৎপন্ন হবে। শব্দের বেগ যদি v হয়, মূল

স্বরে অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য যদি l হয় এবং কম্পাঙ্ক যদি n হয় তবে

$$n=\frac{v}{4l} \text{ অথবা } v=4nl$$

একটি সংলগ্ন স্কেল থেকে অনুনাদী দৈর্ঘ্য l সরাসরি জানা যায়।

4.16 প্রান্তিক ত্রুটি ও তার সংশোধন (End correction)

কোন নলে যখন স্থাণু তরঙ্গ উৎপন্ন হয় তখন সুস্পন্দ বিন্দু নলের ঠিক খোলা মুখে না হয়ে সামান্য দূরে থাকে। এই দূরত্বের মান $0{\cdot}6r$; r হচ্ছে নলের ব্যাসার্ধ। সুস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান সম্পর্কে এই $0{\cdot}6r$-কে **প্রান্তিক ত্রুটি** বলা হয়। মূল স্বরে অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য l হলে প্রান্তিক ত্রুটি শুদ্ধ করে তাকে $l+0{\cdot}6r$ ধরা উচিত।

প্রান্তিক ত্রুটি পরিহার করার অন্য উপায়ও আছে। এক্ষেত্রে শব্দের বেগ নির্ণয় করতে প্রথমে RR′ নলের খোলা মুখের উপর স্বরশলাকা স্থাপন করা হয়। নলে আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভের যে ন্যূনতম দৈর্ঘ্য l_1 প্রথম জোর শব্দ উৎপন্ন করে তা নির্ণয় করা হয়। এ অবস্থায় শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এবং l_1-এর সম্পর্ক হল

$$\frac{\lambda}{4}=l_1+0{\cdot}6r \qquad \ldots\ldots(1)$$

এখন বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য বাড়িয়ে গেলে পূর্ব দৈর্ঘ্যের প্রায় তিনগুণ দৈর্ঘ্যে আবার অনুনাদ সৃষ্টি হয়। এ থেকে বোঝা যায়, নলে প্রথম সমমেল উৎপন্ন হল। এই অবস্থায়,

$$\frac{3\lambda}{4}=l_2+0{\cdot}6r \qquad \ldots\ldots(2)$$

(1) এবং (2) থেকে $\frac{\lambda}{2}=l_2-l_1$

অর্থাৎ $\lambda=2(l_2-l_1)$

কাজেই $v=n\lambda=2n(l_2-l_1)$

4.17 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. **1.** 10 কিলোগ্রাম ওজনে টানা 50 সেমি. দৈর্ঘ্যের একটি তারে সেকেণ্ডে 256 কম্পন উৎপন্ন হয়। (a) তারের দৈর্ঘ্যের পরিবর্তিত করে, (b) প্রযুক্ত টানের মান পরিবর্তন করে তারের কম্পাঙ্ক কিভাবে 384-তে বৃদ্ধি করা যায়?

(a) অন্য সব অপরিবর্তিত থাকলে, দৈর্ঘ্যের সূত্রানুসারে,

$$n_1 l_1 = n_2 l_2$$

সুতরাং $\quad 256 \times 50 = 384 \times l_2$

অর্থাৎ পরিবর্তিত দৈর্ঘ্য $l_2 = \dfrac{256 \times 50}{384} = \mathbf{33{\cdot}33}$ **সেমি.**

(b) অন্য সব অপরিবর্তিত থাকলে, টানের সূত্রানুসারে

$$\frac{n_1^2}{T_1} = \frac{n_2^2}{T_2}$$

অথবা $\quad \dfrac{256^2}{10} = \dfrac{384^2}{T_2}$

অর্থাৎ $\quad T_2 = \dfrac{384^2}{256^2} \times 10 = \mathbf{22{\cdot}5}$ কিলোগ্রাম

উদা. 2. সমদৈর্ঘ্যের ইস্পাত এবং পিতলের দুটি তার সোনোমিটারে টান করা আছে এবং প্রত্যেকে একই মূল সুর উৎপন্ন করছে। তারের টান যথাক্রমে 3 ও 5 কিলোগ্রাম ওজন এবং ইস্পাতের তারের ব্যাসার্ধ 0·88 মিমি; পিতলের তারের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। (ইস্পাত এবং পিতলের ঘনাঙ্ক যথাক্রমে 8·4 এবং 7·8 গ্রাম/মিমি)

আমরা জানি, মূলস্বরের কম্পাঙ্ক $n = \dfrac{1}{2l}\sqrt{\dfrac{T}{m}}$

তারের ব্যাস d এবং ঘনাঙ্ক ϱ হলে $m = \pi\left(\dfrac{d}{2}\right)\dfrac{2}{\varrho} = \dfrac{\pi d^2 \varrho}{4}$

$$\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{4T}{\pi d^2 \varrho}} = \frac{1}{ld}\sqrt{\frac{T}{\pi\varrho}}$$

সুতরাং, পিতলের ক্ষেত্রে $\quad n = \dfrac{1}{ld}\sqrt{\dfrac{5 \times 1000 \times 980}{\pi \times 8{\cdot}4}}$

এবং ইস্পাতের ক্ষেত্রে, $\quad n = \dfrac{1}{l \times {\cdot}08}\sqrt{\dfrac{3 \times 1000 \times 980}{\pi \times 7{\cdot}8}}$

প্রশ্নানুসারে, $\quad \dfrac{1}{d^2} \times \dfrac{5}{8{\cdot}4} = \dfrac{1}{({\cdot}08)^2} \times \dfrac{3}{7{\cdot}8}$

$$\therefore \; \mathbf{d = 0{\cdot}99}$$ **সেমি**

উদা. 3. কোন বিশেষ গ্যাসপূর্ণ 4 ফুট দীর্ঘ বন্ধ নল একটি সুরশলাকার সঙ্গে সমান কম্পাঙ্কযুক্ত। বায়ুপূর্ণ 5 ফুট দীর্ঘ একটি খোলা নল যদি ঐ সুরশলাকার

সঙ্গে সমস্থর হয় তবে ঐ গ্যাসে শব্দের বেগ কত? (বায়ুতে শব্দের বেগ= 1120 ফুট/সেকেণ্ড)

যদি v_g= গ্যাসে শব্দের বেগ, l_g= দৈর্ঘ্য এবং n= কম্পাঙ্ক হয় তবে

বন্ধ নলের ক্ষেত্রে কম্পাঙ্ক $n=\frac{v_g}{4l_g}$; খোলা নলের ক্ষেত্রে, $n=\frac{v_a}{2l_a}$

(v_a= বায়ুতে শব্দের বেগ ; l_a= দৈর্ঘ্য)

প্রশ্নানুসারে, $$\frac{v_g}{4l_g}=\frac{v_a}{2l_a}$$

$$\therefore \quad v_g=v_a\frac{4l_g}{2l_a}=\frac{1120\times4\times4}{5\times2}=\mathbf{1792} \text{ ফুট/সে.}$$

উদা. 4. 20° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় কোন বন্ধ নলে উৎপন্ন স্বরের সর্বনিম্ন কম্পাঙ্ক যদি 256 হয় তবে নলের দৈর্ঘ্য কত? (0°C-এ শব্দের বেগ=332 মিটার/সেকেণ্ড)।

0°C-এ শব্দের বেগ=332 মিটার/সেকেণ্ড

20°C শব্দের বেগ=332 (1+·00183× 20)=344 মি/সে.

বন্ধ নলের দৈর্ঘ্য l সেমি. হলে, $n=v/4l$

$$\therefore\ l=\frac{344}{4\times256} \text{ মিটার}=\mathbf{33{\cdot}6 \text{ সেমি}}$$

উদা. 5. একটি বায়ুপূর্ণ বন্ধ নলে উৎপন্ন স্বরের কম্পাঙ্ক 250। বায়ু অপসারিত করে নলটি কার্বন ডাই-অক্সাইড দিয়ে পূর্ণ করলে কম্পাঙ্কের কত পরিবর্তন হবে? (বায়ুতে এবং কার্বন ডাই-অক্সাইডে শব্দের বেগ যথাক্রমে 350 মি/সে. এবং 273 মি/সে.)।

ধরা যাক, নলের দৈর্ঘ্য=l সেমি.। আমরা জানি $v=4nl$

বায়ুর ক্ষেত্রে, $v_a=4n_al=4\times250\times l=1000l$

$$\therefore \quad l=\frac{35000}{1000}=35 \text{ সেমি}$$

এবং কার্বন ডাই-অক্সাইডের ক্ষেত্রে,

$$v_c\ (=27300)=4n_cl=4\times n_c\times35$$

$$\therefore \quad n_c=\frac{27300}{4\times35}=195$$

$$\therefore \text{ কম্পাঙ্কের পরিবর্তন}=250-195=\mathbf{55}$$

উদা. 6. 1·5 গ্রাম ভরের 60 সেমি. দীর্ঘ একটি তার 20 কিলোগ্রাম ওজনে টান করা আছে। তারের মূল সুরের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

$$\text{মূল সুরের কম্পাঙ্ক } n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

এখন $l=60$ সেমি. ; $T=20\times1000\times980$ ডাইন এবং

$m=1\cdot5/60$ গ্রাম/সেমি.

$$\therefore \quad n=\frac{1}{120}\sqrt{\frac{20\times1000\times980\times60}{1\cdot5}}=233\cdot33$$

উদা. 7. সোনোমিটারের উপর টান করা তারের মুক্ত প্রান্ত থেকে একটি পাথর বায়ুতে ঝুলছে। সোনোমিটারের সেতু দু'টির দূরত্ব 40 সেমি. এবং তারটি একটি সুরশলাকার সঙ্গে সমসুর। পাথরটি সম্পূর্ণ জলে ডুবিয়ে দেওয়ায় সমসুর প্রতিষ্ঠা করতে সেতু দুটির দূরত্ব কমিয়ে 32 সেমি. করতে হল। পাথরটির আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

মনে কর বায়ুতে পাথরটির ভর $=M_1$; $\therefore$ ঐ অবস্থায় টান $T_1=M_1g$

$$\therefore \quad n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$=\frac{1}{2\times40}\sqrt{\frac{M_1g}{m}}$$

পাথরটি জলে নিমজ্জিত অবস্থায় টান, ধরা যাক, M_2g ;

$$\therefore \quad n=\frac{1}{2\times32}\sqrt{\frac{M_2g}{m}}$$

প্রশ্নানুসারে,
$$\frac{1}{80}\sqrt{\frac{M_1g}{m}}=\frac{1}{64}\sqrt{\frac{M_2g}{m}}$$

$$\therefore \quad \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}=\frac{80}{64}=\frac{5}{4} \quad \therefore \quad \frac{M_1}{M_2}=\frac{25}{16}$$

$$\therefore \quad 1-\frac{M_2}{M_1}=1-\frac{16}{25}=\frac{9}{25}$$

বা
$$\frac{M_1-M_2}{M_1}=\frac{9}{25} \quad \therefore \quad \frac{M_1}{M_1-M_2}=\frac{25}{9}=2\cdot77$$

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব}=\frac{\text{বায়ুতে বস্তুর ভর}}{\text{অপসারিত জলের ভর}}=\frac{M_1}{M_1-M_2}=2\cdot77$$

উদা. 8. কোন বদ্ধ নলে তৃতীয় উপসুরের কম্পাঙ্ক একটি খোলা নলের প্রথম উপসুরের সঙ্গে সমসুর। নল দুটির দৈর্ঘ্যের অনুপাত নির্ণয় কর।

বদ্ধ নলে কেবলমাত্র বিজোড় উপসুর থাকে। যদি মূল সুরের কম্পাঙ্ক n_1 হয় তবে তৃতীয় উপসুরের কম্পাঙ্ক $=7n_1$

খোলা নলে সব উপসুরই থাকে। সুতরাং মূল সুরের কম্পাঙ্ক যদি n_2 হয় তবে দ্বিতীয় উপসুরের কম্পাঙ্ক $=2n_2$.

$$\therefore \text{ প্রশ্নানুসারে, } 7n_1=2n_2 \text{ বা } \frac{n_2}{n_1}=\frac{7}{2}$$

এখন বদ্ধ নলের ক্ষেত্রে $n_1=\frac{v}{4l_1}$; খোলা নলের ক্ষেত্রে $n_2=\frac{v}{2l_2}$

$$\therefore \frac{n_2}{n_1}=2\frac{l_1}{l_2}=\frac{7}{2} \quad \therefore \frac{l_1}{l_2}=\frac{7}{4}$$

অনুশীলনী

1. তরঙ্গের উপরিপাত বলতে কি বোঝায়?
2. স্থাণু তরঙ্গের উৎপত্তি ব্যাখ্যা কর।
3. স্থাণু তরঙ্গ এবং চলতরঙ্গের পার্থক্য বর্ণনা কর।
4. সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দু কি? তাদের উৎপত্তি ব্যাখ্যা কর।
5. টানযুক্ত তারের তির্যক কম্পনের সূত্রগুলি লেখ। কি করে সূত্রগুলির সত্যতা পরীক্ষা করবে?
6. বদ্ধ এবং খোলা নলের মূল সুর ও উপসুরগুলির কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।
7. খোলা নলের সুর বদ্ধ নলের সুরের চেয়ে শ্রুতিসুখকর হয় কেন?
8. দুটি একই ধরনের তার সমান কম্পাঙ্কে তির্যকভাবে কম্পিত হচ্ছে। যখন একটি তারের টান 2·01% বৃদ্ধি করা হল, তখন সেকেণ্ডে 3টি স্বরকম্প উৎপন্ন হল। তার দুটির প্রাথমিক কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।
(কঃ বিঃ **1957**) [285·7 ; 288·7]
9. 50 সেমি. দীর্ঘ এবং 6·5 গ্রাম মোট ভরের একটি তার টান করা আছে। তারের তির্যক কম্পনে মূল সুরের কম্পাঙ্ক 80 ; তারের টান নির্ণয় কর।
(কঃ বি : **1964**) [$8·49\times10^3$ গ্রাম ভার]
10. 0° সেন্টিগ্রেডে বায়ুতে শব্দের বেগ 332 মিটার/সেকেণ্ড। 256

কম্পাঙ্কের একটি স্বরশলাকার সঙ্গে সমস্বর হতে গেলে খোলা নলের বায়ুস্তম্ভের সর্বনিম্ন দৈর্ঘ্য কত হবে? [65·6 সেমি]

11. একটি অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের উপর একটি স্বরশলাকা ধরে বায়ুস্তম্ভের 24 ও 74·1 দৈর্ঘ্যে অনুনাদ পাওয়া গেল। ঘরের উষ্ণতায় শব্দের বেগ 340 মিটার/সেকেণ্ড হলে শলাকার কম্পাঙ্ক ও প্রান্তিক ত্রুটি নির্ণয় কর।

(উৎকল, **1952**) [339·3 ; 1·05 সেমি]

12. অনুনাদী স্তম্ভ কর্তৃক বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় করার মূল তত্ত্ব বর্ণনা কর।

13. সনোমিটারের সাহায্যে কিভাবে স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করবে?

14. 25 কিলোগ্রাম ভরের টানে রাখা 50 সেমি দীর্ঘ তারে উৎপন্ন স্বরের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। (**2** মিটার তারের ভর 4·79 গ্রাম) [320]

15. 80 গ্রাম ভরের 50 সেমি দীর্ঘ একটি তার এমনভাবে টান করা আছে যে তা সেকেণ্ডে 80 বার কাঁপে। টানের মান কত? [$1·024 \times 10^8$ ডাইন]

16. 1 মিটার দীর্ঘ তামার তার (ঘনাঙ্ক 8·8) 20 কিলোগ্রাম ওজনে টান করা আছে। তারের ব্যাস 1·8 মিমি. হলে উৎপন্ন মূল স্বরের কম্পাঙ্ক কত? [46·8/সেকেণ্ড]

17. একটি খোলা নলে উৎপন্ন মূল স্বরের কম্পাঙ্ক 268 ; নলের দৈর্ঘ্য কত বাড়ালে কম্পাঙ্ক 256 হবে? [0·0663 ফুট]

18. একই দৈর্ঘ্যের তিনটি তার A, B, C একটি সোনোমিটারে বাঁধা আছে। ওদের একক দৈর্ঘ্যের ভরের অনুপাত যথাক্রমে 2 : 8 : 18 এবং টানের অনুপাত যথাক্রমে 12 : 12 : 27। তারগুলো যে স্বর উৎপন্ন করে তাদের কম্পাঙ্কের অনুপাত বের কর। (দিল্লী) [2 : 1 : 1]

19. 10·2 বা 9·9 কিলোগ্রাম ভারে টানা একটি সোনোমিটার তারের সঙ্গে একত্রে কাঁপালে একটি স্বরশলাকা 12 সেকেণ্ডে 20 স্বরকম্প উৎপন্ন করে। স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক কত? (উজ্জয়িনী) [221·67]

20. 60 সেমি লম্বা এবং 0·90 গ্রাম ভরযুক্ত একটি সরু সোনোমিটার তার 10 কিলোগ্রাম ভারে টানা আছে। দ্বিতীয় সমমেলের (second overtone) কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। (লণ্ডন) [213·1]

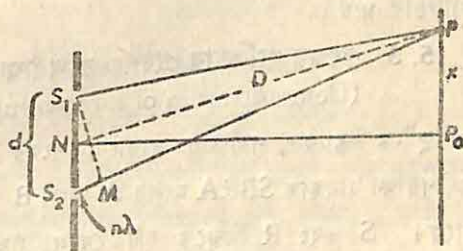
5 | ব্যতিচার
পঞ্চম অধ্যায় | (Interference)

5. 1 ব্যতিচার (Interference)

একই কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের দুটি তরঙ্গমালা একসঙ্গে একই কণার উপর আপতিত হলে কণাটি ঐ তরঙ্গ দুটি দ্বারা যুগপৎ আন্দোলিত হবে। প্রতিটি তরঙ্গের দরুন কণাটির একটি সরণ হওয়া উচিত। কিন্তু দুটি তরঙ্গ একই সঙ্গে ক্রিয়াশীল হওয়ায় চূড়ান্ত সরণ পৃথক পৃথক সরণের লব্ধি হবে।

ধরা যাক S_1 এবং S_2 দুটি শব্দের উৎস এবং উৎস দুটি থেকে সমকম্পাঙ্ক ও সমবিস্তারের শব্দতরঙ্গ ছড়িয়ে পড়ছে। উৎস দুটির দূরত্ব ধরা যাক d এবং উৎসদ্বয় থেকে D দূরত্বে S একটি পর্দা রাখা আছে।

S পর্দার উপর P বিন্দুর কথা বিবেচনা করা যাক। S_1 এবং S_2 উৎস থেকে শব্দের দুই অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গমালা যথাক্রমে S_1P এবং S_2P পথে P বিন্দুতে আপতিত হচ্ছে। D দূরত্ব যথেষ্ট বড়; ফলে আপতিত তরঙ্গ দুটির কম্পনের অভিমুখ সমান্তরাল ধরা চলে।

S_1 এবং S_2 উৎস থেকে শব্দ ভিন্ন ভিন্ন পথ অতিক্রম করে এসেছে বলে P বিন্দুতে তারা ভিন্ন ভিন্ন দশায় আপতিত হবে।

চিত্র 44

S_1 থেকে S_2P রেখার উপর S_1M লম্ব টান। এখন S_2M হচ্ছে দুই উৎস থেকে আসা তরঙ্গ দুটির **পথ পার্থক্য** (path difference)। শব্দের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য যদি λ হয় এবং পথ-পার্থক্য S_2M-এর দৈর্ঘ্য যদি $\lambda/2$ বা তার কোন বিজোড় গুণিতক হয় তবে উৎস দুটি থেকে আগত তরঙ্গমালা P বিন্দুতে বিপরীত দশায় আপতিত হবে। ফলে P বিন্দুস্থিত কণার সরণ সর্বদা শূন্য হবে অর্থাৎ ঐ বিন্দুতে শব্দের প্রাবল্যও হবে শূন্য। একে বলে **ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার** (destructive interfernce)

কিন্তু পথ-পার্থক্য $S_2M=\lambda,\ 2\lambda,\ 3\lambda$ ইত্যাদি হলে P বিন্দুতে দুই তরঙ্গমালা সমদশায় আপতিত হয়ে দ্বিগুণ বিস্তারে P বিন্দুস্থিত কণাকে আন্দোলিত করবে। শব্দের প্রাবল্য ঐ বিন্দুতে তখন চতুর্গুণ হয়ে যাবে। ($\because$ প্রাবল্য $\propto$

বিস্তার[2])। একে বলে সৃষ্টিমূলক ব্যতিচার (Constructive interference)।

চিত্র থেকে বোঝা যায় P_0 বিন্দুতে শব্দের প্রাবল্য এভাবে বৃদ্ধি পাবে এবং তার উপরে ও নিচে বিভিন্ন বিন্দুতে ক্রমান্বয়ে শূন্য ও প্রবল শব্দ পাওয়া যাবে। মিথস্ক্রিয়ার দরুন তরঙ্গমালার উপরিপাতনে প্রাবল্যের এই ধরনের পরিবর্তনকে তরঙ্গের ব্যতিচার (Interference) বলা হয়।

5. 2 তরঙ্গের ব্যতিচারের শর্ত (Conditions for interference)

দুটি তরঙ্গমালার ব্যতিচারের নিম্নলিখিত শর্তগুলি পূরণ হওয়া দরকার।

(1) তরঙ্গদ্বয়ের বিস্তার এবং তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সমান হবে।

(2) তরঙ্গদ্বয় কর্তৃক উদ্দীপিত কণার সরণ সমান্তরাল হবে।

(3) সৃষ্টিমূলক ব্যতিচারের শর্ত : পথ পার্থক্য $= 2n\frac{\lambda}{2}$

(4) ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের শর্ত : পথ পার্থক্য $= (2n+1)\frac{\lambda}{2}$.

শব্দ ও অন্যান্য যে সকল শক্তি তরঙ্গ দ্বারা বাহিত হয় তাদের ক্ষেত্রেও ব্যতিচার ঘটে।

5. 3 শব্দের ব্যতিচার প্রদর্শনের পরীক্ষা
(Demonstration of interference of sound)

কুইঙ্কে উদ্ভাবিত পরীক্ষার সাহায্যে শব্দের ব্যতিচার প্রদর্শন করা যায়। এই পরীক্ষা ব্যবস্থায় SBRA নলের A অংশ B অংশের ভিতর চলাচল করতে পারে। S এবং R বিন্দুতে দুটি খোলা পথ আছে। S খোলা পথের

S
A
B
R

চিত্র 45

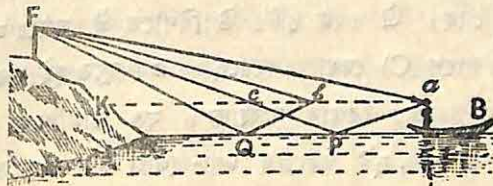
সামনে একটি কম্পিত সুরশলাকা উপস্থিত করলে নির্গত তরঙ্গ নলে প্রবেশ করে ও দু-ভাগে বিভক্ত হয়ে SAR ও SBR পথে R বিন্দুতে এসে মিলিত হয়। অতএব R পথের সামনে শব্দ শোনা যেতে পারে।

SAR এবং SBR পথের দৈর্ঘ্য যদি সমান হয় তবে R বিন্দুতে **সৃষ্টিমূলক** (constructive) ব্যতিচার সংঘটিত হবে এবং প্রবল শব্দ শোনা যাবে। এখন নলের A অংশকে আস্তে টেনে বের করলে এমন একটি অবস্থা পাওয়া যাবে যখন SAR পথের দৈর্ঘ্য SBR পথের চেয়ে $\lambda/2$ বেশি। এই অবস্থায় পৌছলে R বিন্দুতে কোন শব্দ শুনতে পাওয়া যাবে না, কেননা এক্ষেত্রে শব্দের ধ্বংসাত্মক (destructive) ব্যতিচার ঘটে। এভাবে A নলের অবস্থান পরিবর্তিত করে R বিন্দুতে ক্রমান্বয়ে প্রবল শব্দ ও নিঃশব্দ অবস্থার সৃষ্টি করা যায়।

দ্রষ্টব্য : কুইঙ্কের পরীক্ষার সাহায্যে **শব্দের বেগও** নির্ণয় করা যায়। মনে কর A-র কোন অবস্থানে R বিন্দুতে নিঃশব্দ অবস্থা সৃষ্ট হয়েছে। এবার A-কে ধীরে ধীরে বাইরে টেনে আনলে শব্দের প্রাবল্য বেড়ে ঠিক পরবর্তী সুশব্দ অঞ্চলে পৌছবে। A-কে আরো টেনে তার পরবর্তী নিঃশব্দ অবস্থায় পৌছানো যায়।

পরপর দুটি নিঃশব্দ অঞ্চলের জন্য তরঙ্গ কর্তৃক অতিক্রান্ত পথের পার্থক্য λ ; প্রথম নিঃশব্দ থেকে দ্বিতীয় নিঃশব্দ অঞ্চলে যেতে A নলে শব্দকে যদি l পথ বেশি অতিক্রম করতে হয় তবে, $\lambda = l$, $\therefore$ শব্দের বেগ $v = n\lambda = nl$.

5. 4 শব্দের ব্যতিচারের উদাহরণ : নিঃশব্দ অঞ্চল
(Examples of interference : Zone of silence)

কুয়াসায় ঢাকা উপকূলের দিকে অগ্রসরমান জাহাজকে সতর্ক করে দেওয়ার জন্য উপকূলে কোন উচ্চ স্থান থেকে সাইরেন বাজানোর প্রথা আছে। সাইরেন নির্গত শব্দতরঙ্গ দুই পথে জাহাজের আরোহীর কাছে পৌছতে পারে। একটি

চিত্র 46

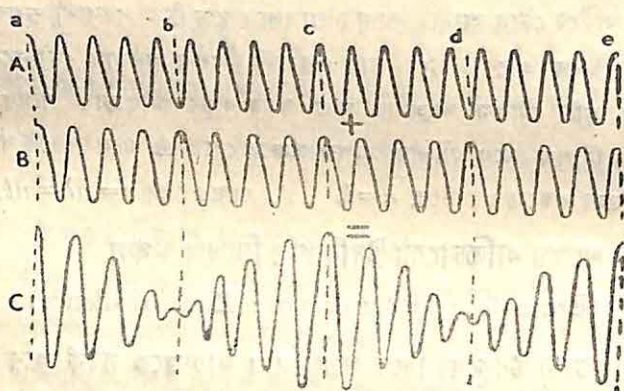
পথে শব্দ সাইরেন থেকে সোজাসুজি আরোহীর কানে যায় (Fa) এবং অন্য পথে শব্দ জলে প্রতিফলিত হয়ে (FP) আরোহীর কানে পৌছয়। জাহাজের কোন অবস্থানের জন্য এই দুই পথের পার্থক্য যদি $\lambda/2$, $3\lambda/2$, $5\lambda/2$ ইত্যাদি হয় তবে

ঐ সকল অবস্থানে আরোহী কোন শব্দ শুনতে পাবে না। অবশ্য জাহাজ সামান্য এগিয়ে এলে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের শর্ত ব্যাহত হবে এবং আরোহী আবার শব্দ শুনতে পাবে। যে অবস্থানে আরোহী শব্দ শুনতে পায় না তাকে **নিঃশব্দ অঞ্চল** (zone of silence) বলে।

5. 5 স্বরকম্প (Beats)

দুটি প্রায় সমান কম্পাঙ্কের উৎস থেকে নির্গত শব্দ মিলিত হলে মিলিত শব্দের প্রাবল্যের পর্যায়ক্রমিক হ্রাস বৃদ্ধি ঘটে। একে **স্বরকম্প** বলে।

উৎস থেকে নির্গত তরঙ্গ দুটির লেখচিত্র উপরিপাত করে স্বরকম্পের উৎপত্তি উপলব্ধি করা যায় 47 নং চিত্রে একটি নির্দিষ্ট সময়ে একটি 18 কম্পাঙ্কের তরঙ্গ রূপ (A) এবং আরেকটি 16 কম্পাঙ্কের তরঙ্গ রূপ (B) আঁকা হয়েছে। তরঙ্গ-

চিত্র 47

রূপটি সময়-সরণ (time-displacement) লেখ নয়, স্থানাঙ্ক-সরণ (space-displacement) লেখ। ঐ তরঙ্গ দুটির উপরিপাতে ঐ সময়ে লব্ধি তরঙ্গের রূপ চিত্রের নিচের অংশে (C) দেখানো হয়েছে। a বিন্দুতে দুই তরঙ্গের সমদশা অবস্থা, ফলে লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার সর্বোচ্চ। যত ডানদিকে যাওয়া যায়, কম্পাঙ্কের পার্থক্যের দরুণ, দুই তরঙ্গের দশা-পার্থক্য তত বাড়তে থাকে। b বিন্দুতে ওদের দশা বিপরীত; ফলে ওখানে লব্ধির বিস্তার সর্বনিম্ন। দুই তরঙ্গের দশা-পার্থক্য বাড়তে বাড়তে c বিন্দুতে 2π-এ দাঁড়ায় অর্থাৎ c বিন্দুতে তারা আবার সমদশায় আসে। c-তে লব্ধির বিস্তার সর্বোচ্চ হয়। যেহেতু প্রাবল্য বিস্তারের উপর নির্ভরশীল, ফলে স্বল্প সময়াবকাশে প্রাবল্যের পর্যায়ক্রমিক হ্রাসবৃদ্ধি ঘটে।

স্বরকম্পের সংখ্যাঃ প্রায় সমান কম্পাঙ্কের দুটি শব্দ মিলিত হলে এক সেকেণ্ডে যে কয়বার প্রবল অথবা মৃদু শব্দ শোনা যায় তাকে **স্বরকম্পের সংখ্যা** (number of beats) বলে। প্রমাণ করা যায় যে, (5.6 অনুচ্ছেদ দেখ)

স্বরকম্পের সংখ্যা = তরঙ্গদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য।

5. 6 স্বরকম্পের গাণিতিক বিশ্লেষণ (Mathematical analysis of beats)

সমবিস্তারের ও প্রায় কাছাকাছি কম্পাঙ্কের দুটি শব্দতরঙ্গ দ্বারা কোন বিন্দুতে বস্তুকণার উদ্দীপিত দোলনকে নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়।

$$y_1 = a \sin 2\pi n_1 t$$
$$y_2 = a \sin 2\pi n_2 t$$

এখানে a = বিস্তার, n_1, n_2 কম্পাঙ্ক ($n_1 > n_2$)।

$\therefore$ উপরিপাতের ফলে লব্ধি দোলনের সমীকরণ

$$y = y_1 + y_2 = a \sin 2\pi n_1 + a \sin 2\pi n_2 t$$
$$= 2a \cos 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2}\right) t . \sin 2\pi \left(\frac{n_1 + n_2}{2}\right) t$$

এই সমীকরণকে সরল দোলগতির সাধারণ সমীকরণের সঙ্গে তুলনা করলে বোঝা যায় যে, এর বিস্তার $A = 2a \cos 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{t}\right)$। অতএব লব্ধির বিস্তারও সময়ের সঙ্গে কমে-বাড়ে এবং ফলে শব্দের প্রাবল্যেরও সময়ের সঙ্গে হ্রাসবৃদ্ধি ঘটে।

লব্ধি তরঙ্গের বিস্তারের মান সেকেণ্ডে যতবার সর্বাধিক (ধনাত্মক ও ঋণাত্মক) হবে, স্বরকম্পের সংখ্যাও তত হবে। কিন্তু বিস্তারের মান সেকেণ্ডে ততবার সর্বাধিক বা সর্বনিম্ন হবে যতবার $\cos 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2}\right) t$-র মান সর্বাধিক বা সর্বনিম্ন হয়। কিন্তু $\cos 2\pi \left(\frac{n_1 - n_2}{2}\right) t$ সেকেণ্ডে $(n_1 - n_2)$ বার সর্বাধিক ও সর্বনিম্ন মান নেয়। সুতরাং স্বরকম্পের সংখ্যাও $(n_1 - n_2)$। অর্থাৎ তরঙ্গদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য।

5. 7 স্বরকম্প উপলব্ধির শর্ত (Conditions for beat-detection)

স্বরকম্প উপলব্ধি করতে হলে উৎস দুটির কম্পাঙ্কের পার্থক্য কম হওয়া

প্রয়োজন। স্বরকম্পের সংখ্যা সেকেণ্ডে 16-র বেশি হলে স্বরকম্প পৃথকভাবে উপলব্ধি করা কঠিন হয়। এ ছাড়া, উৎস দুটির শব্দের প্রাবল্যও কাছাকাছি হওয়া দরকার ; কেননা, তা হলে ক্ষীণতর শব্দ জোরালো শব্দের বেশি হ্রাসবৃদ্ধি ঘটাতে পারবে না।

5. 8 স্বরকম্পের প্রয়োগ : অজ্ঞাত কম্পাঙ্ক নির্ণয় (Application of beats : Determination of frequency)

মনে কর, একটি সুরশলাকার অজ্ঞাত কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে হবে। একটি জানা কম্পাঙ্কের সুরশলাকার সাহায্যে তা নির্ণয় করা যায়। ধরা যাক, জানা সুরশলাকাটির কম্পাঙ্ক 256। অজানা কম্পাঙ্কের সুরশলাকার সঙ্গে একত্রে কম্পিত হলে এদের দ্বারা সেকেণ্ডে ক'টি স্বরকম্প হয় তা নির্ণয় কর। ধরা যাক তা 4 ; সুতরাং অজ্ঞাত সুরশলাকার কম্পাঙ্ক $256+4=260$ বা $256-4=252$ হবে। এ দুটির কোন্‌টি অজ্ঞাত সুরশলাকার কম্পাঙ্ক তা নির্ণয় করতে হলে জানা সুরশলাকার বাহুতে একটু মোম লাগিয়ে আবার প্রতি সেকেণ্ডে উভয় সুরশলাকা কত স্বরকম্প উৎপন্ন করে নির্ণয় কর। মোম লাগানোর ফলে জানা সুরশলাকার কম্পাঙ্ক 256 থেকে একটু কমে যাবে। অজানা সুরশলাকার কম্পাঙ্ক যদি 252 হয় তাহলে এ অবস্থায় স্বরকম্পের সংখ্যা 4-এর কম হবে। অজানা সুরশলাকার কম্পাঙ্ক 260 হলে এ ক্ষেত্রে স্বরকম্পের সংখ্যা বৃদ্ধি পাবে। কাজেই স্বরকম্পের সংখ্যা বাড়লো না কমলো তা দেখে অজানা সুরশলাকার কম্পাঙ্ক সঠিক নির্ধারণ করা যায়।

5. 9 ডপলারের প্রভাব (Doppler effect)

কোন স্থির উৎস যদি n কম্পাঙ্কের সুর উৎপন্ন করে, তাহলে উৎস থেকে কিছু দূরে কোন স্থির শ্রোতার কাছে প্রতি সেকেণ্ডে n-সংখ্যক তরঙ্গ পৌছবে। অর্থাৎ শ্রোতার কাছে আগত শব্দের কম্পাঙ্ক n মনে হবে। কিন্তু উৎস বা শ্রোতার যে কোন একটি বা উভয়ই যদি গতিশীল হয় তবে উৎস কর্তৃক উৎপন্ন শব্দের কম্পাঙ্ক n হওয়া সত্ত্বেও শ্রোতা তার আপেক্ষিক গতি অনুসারে অন্যতর কম্পাঙ্কের শব্দ আসছে বলে সিদ্ধান্ত করবে। **শ্রোতা এবং উৎসের আপেক্ষিক গতির ফলে শ্রোতার কাছে তরঙ্গের কম্পাঙ্কের আপাত পরিবর্তনকে ডপলার প্রভাব বলে।**

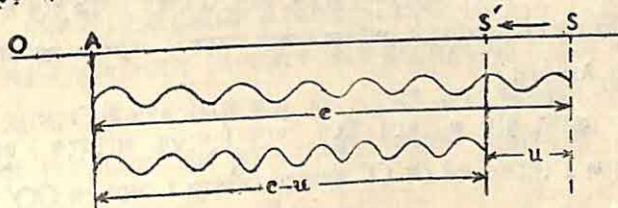
রেলের প্ল্যাটফর্মে দাঁড়িয়ে গতিশীল ট্রেনের হুইস্‌লের শব্দের তীক্ষ্ণতায় এই

পরিবর্তন বোঝা যায়। ট্রেন যখন স্টেশনে এসে ঢোকে তখন মনে হয় শব্দের তীক্ষ্ণতা অর্থাৎ কম্পাঙ্ক বাড়ছে এবং ট্রেন যখন প্ল্যাটফর্ম ছাড়িয়ে চলে যায় তখন তীক্ষ্ণতা কমে।

5.10 ডপলারের প্রভাবে তীক্ষ্ণতার আপাতপরিবর্তন (Calculation of apparent change in frequency)

(1) যখন উৎস গতিশীল, শ্রোতা স্থির

মনে কর n কম্পাঙ্কের শব্দ উৎপাদনকারী কোন উৎস S, শ্রোতা O-এর দিকে u বেগে গতিশীল।

উৎস যদি স্থির থাকতো তবে 1 সেকেণ্ডে উৎপন্ন n-সংখ্যক তরঙ্গ $c\ (=SA)$ দৈর্ঘ্য জুড়ে থাকতো (চিত্র 48) ; c হচ্ছে শব্দের বেগ।

চিত্র 48

কিন্তু এক সেকেণ্ডে উৎস শ্রোতার দিকে u দৈর্ঘ্য এগিয়ে যাওয়ায় S′-এ উৎপন্ন n-সংখ্যক তরঙ্গ $(c-u)$-দৈর্ঘ্যে চাপাচাপি করে অবস্থান করবে।

∴ শ্রোতার নিকট তরঙ্গের পরিবর্তিত দৈর্ঘ্য $= \dfrac{c-u}{n}$ ।

∴ শ্রোতা যে শব্দ শুনবে তার আপাত কম্পাঙ্ক হল

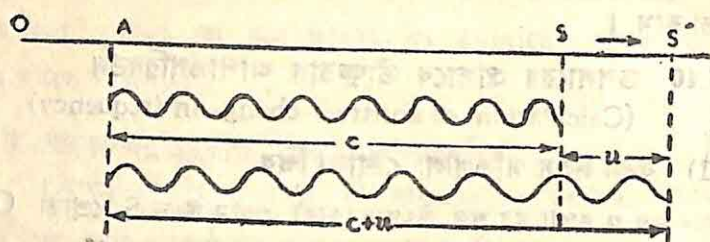
$$n' = \frac{\text{শব্দের বেগ}}{\text{পরিবর্তিত তরঙ্গ দৈর্ঘ্য}}$$

$$= \frac{c}{\dfrac{c-u}{n}} = \frac{c}{c-u}\ n \qquad \text{......(i)}$$

এই সমীকরণ থেকে স্পষ্ট বোঝা যায় যে, উৎস যদি শ্রোতার দিকে গতিশীল হয়, তবে $n' > n$ অর্থাৎ শব্দের তীক্ষ্ণতা বাড়বে।

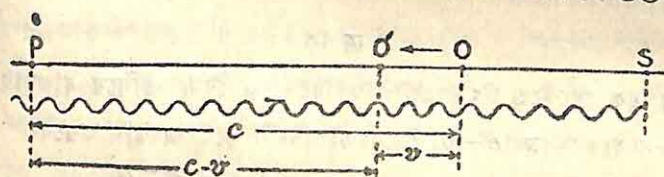
আর উৎস যদি শ্রোতা থেকে দূরে সরে যায় (অর্থাৎ শ্রোতার বিপরীত দিকে যায়) তবে u এর মান ঋণাত্মক হবে এবং এক্ষেত্রে (চিত্র 49)

$$n' = \frac{c}{c+u}\ n \qquad \text{......(ii)}$$

(ii) নং সমীকরণ থেকে স্পষ্টত উৎস শ্রোতা থেকে দূরে সরে গেলে শব্দের তীক্ষ্ণতা কমবে।

চিত্র 49

(2) যখন শ্রোতা গতিশীল, কিন্তু উৎস স্থির

যদি শ্রোতা O স্থির থাকে তবে স্থির উৎস S থেকে নির্গত হয়ে n-সংখ্যক তরঙ্গ প্রতি সেকেণ্ডে শ্রোতাকে অতিক্রম করে যাবে। এক্ষেত্রে শ্রোতার নিকট তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $\lambda = c/n$।

কিন্তু শ্রোতা যদি v বেগে উৎস থেকে (শব্দের অভিমুখে) দূরে সরে যায় তাহলে 1 সেকেণ্ড পর সে O′ অবস্থানে পৌছবে। ফলে সে OO′ অংশের

চিত্র 50

তরঙ্গগুলি গ্রহণ করতে পারবে না। শ্রোতাকে অতিক্রম করে যাওয়া তরঙ্গগুলি $(c-v)$-দৈর্ঘ্য জুড়ে বিস্তৃত থাকবে (চিত্র 50)।

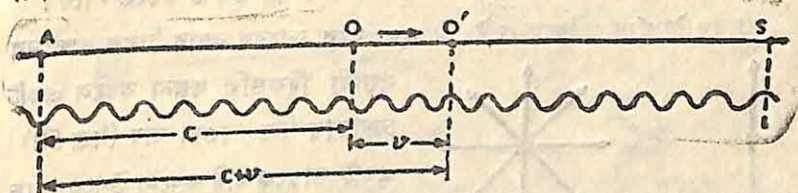
$\therefore$ শব্দের আপাত কম্পাঙ্ক $n' = \dfrac{c-v}{\lambda}$

$$= \frac{c-v}{c/n} = \frac{c-v}{c}\, n \qquad \ldots\ldots\text{(iii)}$$

এক্ষেত্রে স্পষ্টত $n' < n$, অর্থাৎ শ্রোতা উৎস থেকে দূরে সরে গেলে শব্দের তীক্ষ্ণতার আপাত হ্রাস ঘটে।

কিন্তু, শ্রোতা যদি উৎসের অভিমুখে গতিশীল হয় (চিত্র 51) তবে v-র মান ঋণাত্মক হবে এবং তখন আপাত কম্পাঙ্ক

$$n' = \frac{c+v}{c}\, n \qquad \ldots\ldots\text{(iv)}$$

(iv) নং সমীকরণ থেকে স্পষ্টত $n' > n$ অর্থাৎ উৎসের দিকে এগুলে শব্দের তীক্ষ্ণতার আপাত বৃদ্ধি ঘটবে।

চিত্র 51

(3) যখন উৎস ও শ্রোতা উভয়েই গতিশীল

মনে কর λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের n-সংখ্যক তরঙ্গ উৎপাদনকারী উৎস S এবং দূরে অবস্থিত শ্রোতা O উভয়েই যথাক্রমে u এবং v বেগে একই অভিমুখে গতিশীল।

শ্রোতা স্থির থাকলে তার কাছে শব্দের আপাত কম্পাঙ্ক হত

$$n' = \frac{c}{c-u} n$$

কিন্তু শ্রোতার বেগের দরুন এই n' পরিবর্তিত হয়ে আপাত কম্পাঙ্ক হবে

$$n'' = \frac{c-v}{c} n'$$

$$= \frac{c-v}{c} \times \frac{c}{c-u} n$$

বা

$$n'' = \frac{c-v}{c-u} n \qquad \ldots\ldots(\text{v})$$

অর্থাৎ

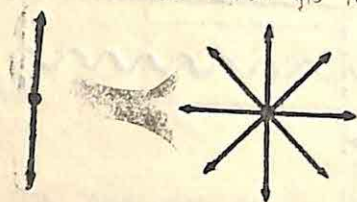
দ্রষ্টব্য: যদি উৎস ও শ্রোতার সঙ্গে সঙ্গে মাধ্যমও গতিশীল হয় (যেমন যদি বায়ুপ্রবাহ থাকে) তবে শব্দের আপাত কম্পাঙ্ক

$$n' = \frac{c \pm \omega - v}{c \pm \omega - u} n \qquad \ldots\ldots(\text{vi})$$

এখানে ω = মাধ্যমের (বায়ুর) বেগ; মাধ্যম শ্রোতার দিকে প্রবাহিত হলে + চিহ্ন, বিপরীত দিক প্রবাহিত হলে − চিহ্ন কার্যকরী হবে।

5.11 সমবর্তন (Polarisation)

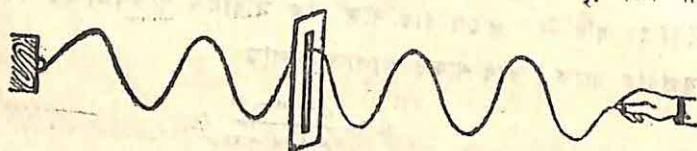
একটি টান করা তারকে টেনে ছেড়ে দিলে তাতে তির্যক কম্পন উৎপন্ন হয়। যদি তারটিকে উপরের দিকে টেনে ছেড়ে দিই তাহলে তারের কণাগুলি উপর-নিচ দোলে। আবার যদি তারটিকে অনুভূমিক টেনে দিই তাহলে

তারটি অনুভূমিক তলে তির্যকভাবে কম্পিত হয়। প্রকৃতপক্ষে তারের কণাগুলি তারের মধ্য-দিয়ে-যাওয়া যে কোন তলেই তির্যক কম্পন উৎপন্ন করতে পারে।

তারের দৈর্ঘ্যের বিরুদ্ধে দৃষ্টি নিক্ষেপ করে, তারের কণার তির্যক কম্পনের সম্ভাব্য দিকগুলি কল্পনা করলে একটি চক্রাকার চিত্র পাওয়া যায় (চিত্র 52)। একটি তারকে যদি কখনো উপরে-নিচে, কখনো অনুভূমিক তলে, কখনো এই দুই অবস্থার মাঝামাঝি অন্য যে কোন তলে তির্যক কম্পন করানো হয় তবে সেই তারের দৈর্ঘ্যের বিরুদ্ধে তাকালে অনুরূপ চক্রাকার ছবি ফুটে উঠবে।

চিত্র 52

তির্যক তরঙ্গে কণাগুলির দোলনের অভিমুখ নিয়ে যে তল গঠিত হয় তাকে তরঙ্গের **কম্পন তল** (plane of vibration) বলে। একটি তার কখনো উপর-নিচে, কখনো অনুভূমিকভাবে তির্যক কম্পনে কম্পমান হলে উৎপন্ন তরঙ্গের কম্পনতলও বদলায়।

তরঙ্গের অভিমুখের আড়াআড়ি তলে কণার কম্পনের অভিমুখ যদি সর্বদা কোন একটি নির্দিষ্ট দিকে হয় তা হলে তাকে **সমবর্তন** (Polarisation) বলে। আড়াআড়ি তলে কম্পন যদি ক্রমাগত দিক পালটায় তবে সেই কম্পনকে **অসমবর্তী কম্পন** (unpolarised vibration) বলে।

নিচে বর্ণিত পরীক্ষাটি অনুধাবন করলে সমবর্তন সম্পর্কে ধারণা স্পষ্ট হবে। মনে কর, একটি স্থিতিস্থাপক সুতোর একপ্রান্ত দৃঢ়ভাবে আটকানো

চিত্র 53

আছে এবং অন্য প্রান্ত হাতে ধরা (চিত্র 53)। সুতোটি একটি উলম্ব সরু স্লিট (slit) দিয়ে গেছে। সুতোর মুক্ত প্রান্তকে এবার উপর-নিচে ঝাঁকানি দিলে সুতোয় একটি তির্যক তরঙ্গ উৎপন্ন হবে এবং তা স্লিট অতিক্রম করে বাঁদিকে সঞ্চারিত হবে।

এবার স্লিট ঘুরিয়ে অনুভূমিক করে মুক্ত প্রান্তে, আগের মত,

উপর-নীচে ঝাঁকানি দিলে দেখা যাবে যে, উৎপন্ন তরঙ্গ স্লিট অতিক্রম করে বাঁ দিকে যেতে পারে না (চিত্র 54) । এর কারণ সহজেই অনুমেয় । স্লিটের প্রান্তে

চিত্র 54

বাধা পাওয়ায় স্লিটের নিম্নস্থ কণাগুলি উপর-নিচে তির্যক কম্পন করতে পারে না । এজন্য তরঙ্গ বাঁদিকে সঞ্চারিত হয় না । কিন্তু উপর-নিচের পরিবর্তে মুক্ত প্রান্তকে অনুভূমিক তলে ঝাঁকানি দিলে তরঙ্গ আবার স্লিটের বাঁদিকে সঞ্চারিত হবে ।

আমরা আর একটি পরীক্ষার কথা কল্পনা করতে পারি । সুতোর একপ্রান্ত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ, মুক্তপ্রান্তটি উল্লম্বতলে যে কোন দিকে সরল দোলগতিতে দোলনরত কোন বস্তুর সঙ্গে আটকানো এবং মধ্যস্থ স্লিটটি উল্লম্বভাবে আছে । এখন মুক্তপ্রান্ত যদি উল্লম্বভাবে সরল দোলন করে তাহলে সুতোয় উৎপন্ন তির্যক তরঙ্গ স্লিট অতিক্রম করে বাঁ দিকে সঞ্চারিত হবে । আর মুক্তপ্রান্তটি যদি অনুভূমিকভাবে তির্যক কম্পন করে তবে স্লিট অতিক্রম করে কোন তরঙ্গ বাঁ দিকে সঞ্চারিত হবে না । কিন্তু যদি মুক্তপ্রান্তটি উল্লম্ব ও অনুভূমিকের মাঝামাঝি কোন দিকে সরল দোলন করে তা হলে দেখা যাবে যে, স্লিট অতিক্রম করে একটি ক্ষুদ্রতর বিস্তারের তরঙ্গ বাঁ দিকে সঞ্চারিত হচ্ছে । মুক্তপ্রান্তের সরল দোলনকে আমরা ইচ্ছে করলে উল্লম্ব ও অনুভূমিক দুটি দোলনের লব্ধি হিসাবে মনে করতে পারি । উল্লম্ব ও অনুভূমিক—এই দুই বিশ্লিষ্ট (resolved) দোলনের মধ্যে উল্লম্ব দোলন স্লিট অতিক্রম করে বাঁ দিকে সঞ্চারিত হতে পারে বলে বাঁ দিকে একটি ক্ষুদ্রতর বিস্তারের তরঙ্গ সঞ্চারিত হবে । কিন্তু অনুভূমিক দোলনটি বাঁ দিকে সঞ্চারিত হতে পারবে না ।

সব শেষে, মনে করা যাক, মুক্তপ্রান্ত উল্লম্ব তলে কখনো অনুভূমিক, কখনো উল্লম্ব এবং কখনো অন্যদিকে তির্যক কম্পন করছে । এর ফলে উৎপন্ন তরঙ্গের কম্পন তল নিরন্তর পরিবর্তিত হবে । স্লিটের ডান দিকে এই রকম সতত পরিবর্তনশীল কম্পনতলের তরঙ্গকে **সম্পূর্ণ অসমবর্তী** (Completely unpolarised) তরঙ্গ বলা চলে । কিন্তু স্লিটের ডানদিকে তরঙ্গের কম্পনতল যে রকমই হোক না কেন, শুধু উল্লম্ব কম্পন এবং অন্য কম্পনের

উলম্ব বিশ্লিষ্টাংশ স্লিট অতিক্রম করে যেতে পারবে। স্লিটের বাঁ দিকে তাই সর্বদা উলম্ব কম্পনতল-বিশিষ্ট তরঙ্গ সঞ্চারিত হবে। এ রকম তরঙ্গকে পূর্ণ সমবর্তী (completely polarised) বলা চলে। এখানে স্লিট ডানদিকের অসমবর্তী তরঙ্গকে সমবর্তী করে বাঁ দিকে সঞ্চারিত করে।

একথা সহজেই বোঝা যায় যে, অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ক্ষেত্রে সমবর্তনের কোনরূপ প্রশ্ন ওঠে না। ফলে শব্দতরঙ্গের কোন সমবর্তন হয় না।

5.11 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. A ও B দুটি সুরশলাকা একসঙ্গে কম্পিত হয়ে প্রতি সেকেণ্ডে 5-টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। B-র কম্পাঙ্ক 512 ; A সুরশলাকার বাহুতে একটু মোম লাগানোর ফলে স্বরকম্পের সংখ্যা কমে 4 হল। A-র কম্পাঙ্ক কত?

(পাঞ্জাব, 1951)

প্রশ্নানুসারে, A ও B-র কম্পাঙ্কের পার্থক্য$=5$; B-র কম্পাঙ্ক$=512$

$\therefore$ A-র কম্পাঙ্ক$=512+5=\mathbf{517}$ বা $512-5=507$

মোম লাগানোর ফলে A-র কম্পাঙ্ক কিছু কমবে। স্বরকম্পের সংখ্যাও দেখা যায় কমে। অর্থাৎ তাদের কম্পাঙ্কের পার্থক্য কমলো। সুতরাং মোম লাগানোর আগে A-র কম্পাঙ্ক B-র চেয়ে বেশি ছিল অর্থাৎ **517** ছিল।

উদা. 2. 64টি সুরশলাকা কম্পাঙ্কের ক্রম অনুযায়ী পর পর সাজানো আছে। শেষেরটির কম্পাঙ্ক প্রথমটির দ্বিগুণ (অর্থাৎ অষ্টক) এবং পাশাপাশি যে কোন দুটি শলাকা সেকেণ্ডে 4টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। প্রথম সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

(কঃ বিঃ 1946)

ধরা যাক, প্রথম সুর শলাকার কম্পাঙ্ক$=n$

পর পর দুটি শলাকা সেকেণ্ডে 4টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে।

$\therefore$ দ্বিতীয় সুরশলাকার কম্পাঙ্ক$=n+4=n+1\times4$

তৃতীয় ,, ,, ,, $=n+4+4=n+2\times4$

... ... $=$ ... ...

64-তম ,, ,, ,, $=n+(64-1)\times4=n+63\times4$

প্রশ্নানুসারে, $n+63\times4=2n$ অর্থাৎ $n=63\times4=\mathbf{252}$

উদা. 3. 256 কম্পাঙ্কে বাঁশি বাজাতে বাজাতে একটি ট্রেন ঘণ্টায় 40 মাইল বেগে প্ল্যাটফরমে প্রবেশ করছে। প্ল্যাটফরমে দণ্ডায়মান শ্রোতার কাছে কম্পাঙ্ক কত হবে? (শব্দের বেগ$=1120$ ফুট/সেকেণ্ড)। (কঃ বিঃ 1961)

এক্ষেত্রে পর্যবেক্ষক স্থির ও উৎস তার দিকে অগ্রসরমান। কাজেই

$$\text{আপাত কম্পাঙ্ক} \quad n' = \frac{c}{c-u} n$$

$$\text{এখানে} \quad u = 40 \text{ মাইল/ঘণ্টা} = \frac{40 \times 1760 \times 3}{60 \times 60} = 58{\cdot}66 \text{ ফুট/সে}$$

$$\therefore \quad n' = \frac{1120}{1120 - 58{\cdot}66} \times 256 = \mathbf{270.2} \quad (\because \quad c = 1120 \text{ ফুট/সে.})$$

উদা. 4. 250 কম্পাঙ্কে বাঁশি বাজিয়ে একটি ট্রেন ঘণ্টায় 15 মাইল বেগে স্টেশনের দিকে আসছে। স্টেশনের ঘরবাড়ি থেকে প্রতিফলিত শব্দের সঙ্গে আপতিত শব্দ স্বরকম্প উৎপন্ন করে। ইঞ্জিন চালক সেকেণ্ডে ক'টি স্বরকম্প শুনবে? (বায়ুতে শব্দের বেগ 1120 ফুট/সে.)। (কঃ বিঃ **1962**)

ইঞ্জিন কর্তৃক উৎপন্ন শব্দের কম্পাঙ্ক $n = 250$। প্রতিফলিত শব্দের কম্পাঙ্ক মনে করি n'; কিন্তু গতির দরুন ইঞ্জিন চালকের কাছে এই কম্পাঙ্ক পরিবর্তিত হয়ে n'' হয়ে যাবে।

$$\text{ইঞ্জিন চালকের বেগ } u = \frac{15 \times 1760 \times 3}{60 \times 60} = 22 \text{ ফুট/সেকেণ্ড}$$

$$\therefore \quad n' = \frac{c}{c-u} n = \frac{1120}{1120-22} \times 250 = 255 \text{ (প্রায়)}$$

$$\therefore \quad n'' = \frac{c+u}{c} n' = \frac{1120+22}{1120} \times 255 = 260$$

(u-র আগে + চিহ্ন, কেননা ইঞ্জিন প্রতিফলিত শব্দের বিপরীতে গতিশীল)

∴ ইঞ্জিন চালক সেকেণ্ডে **260 − 250 = 10টি** স্বরকম্প শুনবে।

উদা. 5. দুই ব্যক্তি A ও B উভয়ের কাছেই 500 কম্পাঙ্কের শব্দের উৎস রয়েছে। যদি A স্থির থাকে এবং B সেকেণ্ডে 6 ফুট বেগে A থেকে দূরে সরে যায় তবে A ও B কর্তৃক শ্রুত স্বরকম্পের সংখ্যা নির্ণয় কর। শব্দের বেগ = **1100** ফু/সে.

(i) A কর্তৃক শ্রুত স্বরকম্প : এক্ষেত্রে শ্রোতা A স্থির, উৎস B গতিশীল। কাজেই ডপলারের সূত্রানুসারে, কম্পাঙ্ক

$$n' = n \frac{c}{c+u} = 500 \times \frac{1100}{1106} = 497{\cdot}29$$

$$\therefore \text{ স্বরকম্পের সংখ্যা} = 500 - 497{\cdot}29 = \mathbf{2{\cdot}71}$$

(ii) B কর্তৃক শ্রুত স্বরকম্প: এক্ষেত্রে উৎস A স্থির, শ্রোতা B গতিশীল। কাজেই কম্পাঙ্ক $n' = n\,\dfrac{c-v}{c} = 500 \times \dfrac{1094}{1100} = 497{\cdot}27$

$\therefore$ স্বরকম্পের সংখ্যা $= 500 - 497{\cdot}27 = 2{\cdot}73$

উদা. 6. একটি কম্পমান বস্তু থেকে নিঃসৃত শব্দ দুই ভিন্ন পথে গিয়ে আবার মিলিত হল। ঐ পথদ্বয়ের পার্থক্য যখন 12 সেমি বা 36 সেমি তখন মিলন-বিন্দুতে নিঃশব্দতার সৃষ্টি হয়। নিঃসৃত শব্দের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। বায়ুতে শব্দের বেগ = 330 মি/সে.

শব্দের উপরিপাতে নিঃশব্দতা সৃষ্টির শর্তানুসারে,

পথপার্থক্য $= 2n.\ \lambda/2$; $n = 1, 2, 3......$

$\therefore$ পরপর দুই নিঃশব্দতার জন্য পথ পার্থক্য $= \lambda$

$\therefore \lambda = 36 - 12 = 24$ সেমি ; $\therefore$ কম্পাঙ্ক $= c/\lambda = \dfrac{330 \times 100}{24} = \mathbf{1375}$

অনুশীলনী

1. তরঙ্গের ব্যতিচার কি? ব্যতিচারের শর্তগুলি কি কি?

2. স্বরকম্প কিভাবে উৎপন্ন হয়? স্বরকম্পের সাহায্যে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কিভাবে নির্ণয় করা যায়? গাণিতিক বিশ্লেষণে দেখাও যে, স্বরকম্পের সংখ্যা = তরঙ্গদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য।

3. শব্দের ব্যতিচার দেখানোর জন্য কুইঙ্কের পরীক্ষা বর্ণনা কর।

4. শব্দবিজ্ঞানে ডপলারের প্রভাব বলতে কি বোঝায়? বিবরটি ব্যাখ্যা কর

5. নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে ডপলার প্রভাবের দরুণ শব্দের কম্পাঙ্ক কিভাবে পরিবর্তিত হয় গণনা করে দেখাও।

(ক) শ্রোতা স্থির, উৎস গতিশীল, (খ) উৎস স্থির, শ্রোতা গতিশীল (গ) শ্রোতা ও উৎস উভয়েই গতিশীল।

6. বায়ুর বেগ হিসাবের মধ্যে ধরলে উপরের তিন ক্ষেত্রে কি রকম পরিবর্তন হবে তা দেখাও।

7. দেখাও যে, যদি শব্দের বেগে উৎস স্থির শ্রোতা থেকে দূরে চলে যায় তবে কম্পাঙ্ক অর্ধেক হবে।

(কঃ বিঃ 1957)

8. তরঙ্গের সমবর্তন বলতে কি বোঝায়? অসমবর্তী তরঙ্গ কিভাবে সমবর্তী করা যায়? ব্যাখ্যা কর।

9. কুইঙ্কের পরীক্ষায় নিকটতম ছুটি নিঃশব্দ অঞ্চল উৎপন্ন করতে চলনক্ষম নলটির প্রথম ও দ্বিতীয় অবস্থানে প্রাপ্ত দৈর্ঘ্যের পার্থক্যের সঙ্গে শব্দের বেগের সম্পর্ক নির্ণয় কর।

10. 24টি সুরশলাকা ক্রমবর্ধমান কম্পাঙ্কে সাজানো আছে। যে কোন শলাকা পূর্ববর্তী শলাকার সঙ্গে সেকেণ্ডে 4টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। প্রথম সুরশলাকাটি শেষটির অষ্টক হলে, প্রথম ও শেষ শলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।
(বোম্বাই, 1954) [92,184]

11. একটি ট্রেন ঘন্টায় 80 মাইল বেগে স্টেশনে দণ্ডায়মান কোন শ্রোতাকে অতিক্রম করে গেল। আসা এবং যাওয়ার সময় ট্রেনটি ক্রমাগত বাঁশি বাজাতে থাকলে স্টেশনে ঢোকার মুখে ও স্টেশন থেকে বেরিয়ে যাওয়ার সময় পর্যবেক্ষক যে যে কম্পাঙ্কের শব্দ শুনবে তাদের অনুপাত কত? (বায়ুতে শব্দের বেগ = 1120 ফু/সে.)
(কঃ বিঃ 1963) [1·23]

12. কোন শ্রোতার দিকে সেকেণ্ড 100 ফুট বেগে অগ্রসরমান ট্রেনের বাঁশির কম্পাঙ্কের সঙ্গে শ্রুত শব্দের কম্পাঙ্কের পার্থক্য শতকরা হিসাবে প্রকাশ কর। বায়ুতে শব্দের বেগ = 1100 ফু/সে. (কঃ বিঃ 1957) [10%]

13. কোন গ্যাসে 50 এবং 50·5 সেমি তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের শব্দ সেকেণ্ডে 6টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। ঐ গ্যাসে শব্দের বেগ নির্ণয় কর।
(পাটনা, 1959) [303 মিটার/সেকেণ্ড]

14. দুটি সুরশলাকা এক সঙ্গে বাজালে সেকেণ্ডে 4টি স্বরকম্প উৎপন্ন হয়। একটি সুরশলাকায় সামান্য মোম চাপালে আর স্বরকম্প উৎপন্ন হয় না। দ্বিতীয় সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কত?
[260]

15. 10·2 বা 9·9 কিলোগ্রাম ওজনে টানা একটি তারের সঙ্গে বাজালে একটি সুরশলাকা সেকেণ্ডে 2টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।
[268/সেকেণ্ড]

16. 118·8 কিমি/ঘণ্টা বেগে একটি এঞ্জিন 1000 কম্পাঙ্কের বাঁশি বাজিয়ে তোমার দিকে এগুচ্ছে। তুমি একটি মোটর গাড়িতে সমবেগে ট্রেনের দিকে এগুচ্ছ। তোমার কাছে বাঁশির শব্দের আপাত তীক্ষ্ণতা কত হবে?
(কঃ বিঃ 1964) [1031

17. সেকেণ্ডে 2000 তরঙ্গযুক্ত শব্দ সৃষ্টি করতে করতে একটি ইঞ্জিন ঘণ্টায় 60 মাইল বেগে তোমার দিকে আসছে। ঐ দিনের উষ্ণতা $24^\circ C$; হুইসলের আপাত তীক্ষ্ণতা কত হবে? $0^\circ C$-এ শব্দের বেগ = 1093 ফু/সে.

(কঃ বিঃ 1960) [2267·2]

18. একটি এঞ্জিন 5 ফু/সে. বাঁশি বাজাতে বাজাতে একটি সেতুর দিকে যাচ্ছে। সেতু থেকে বাঁশির শব্দ প্রতিফলিত হচ্ছে। শব্দের বেগ সেকেণ্ড 1100 ফুট হলে এঞ্জিন চালক ক'টি স্বরকম্প শুনতে পাবে? [সেকেণ্ডে 4·6]

19. এক ব্যক্তি অগ্রসরমান একটি মোটর গাড়ির দিকে সেকেণ্ডে 12 কিলোসাইকেলের একটি শব্দ পাঠাচ্ছে। গাড়ির বেগ ঘণ্টায় 30 মাইল। উৎপন্ন শব্দ ও প্রতিফলিত শব্দের মধ্যে সেকেণ্ডে কটি স্বরকম্প উৎপন্ন হবে? শব্দের বেগ = 1109 ফু/সে.

(কেম্ব্রিজ) [1043]

20. কোন কম্পমান বস্তু থেকে শব্দ নির্গত হয়ে দুটি ভিন্ন পথে গিয়ে আবার এক বিন্দুতে মিলিত হল। ঐ পথদ্বয়ের পার্থক্য 12 সেমি বা 36 সেমি হলে ঐ বিন্দুতে নিঃশব্দতার সৃষ্টি হয়। বস্তুর কম্পাঙ্ক 1375; বায়ুতে শব্দের বেগ কত?

[330 মি/সে.]

21. দুটি এরোপ্লেন যথাক্রমে ঘণ্টায় 100 এবং 150 মাইল বেগে পরস্পরের নিকটবর্তী হচ্ছে। দ্বিতীয় প্লেনের যাত্রীর কাছে প্রথম প্লেনে সৃষ্ট কোন শব্দের কম্পাঙ্ক 1000 বলে মনে হল। ঐ শব্দের প্রকৃত কম্পাঙ্ক কত? শব্দের বেগ = 750 মাইল/ঘণ্টা।

(রাজপুতানা 1948) [722·2]

6
ষষ্ঠ অধ্যায়

তরঙ্গের প্রকৃতি (Nature of Waves)

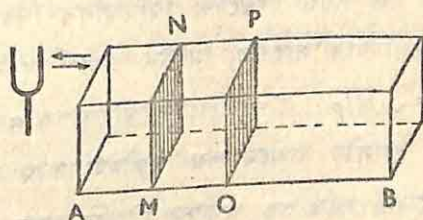
6.1 স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ হিসাবে শব্দতরঙ্গ (Sound waves as elastic waves)

শব্দ তরঙ্গের স্বরূপ কি? এ প্রশ্নের মীমাংসা করতে গেলে শব্দের উৎপত্তি এবং তার বিস্তারের কৌশল মনে রাখা দরকার। শব্দের উৎপত্তি হয় কোন বস্তুর কম্পনের ফলে। হাত থেকে ধাতব বাসন পড়ে গেলে শব্দ উৎপন্ন হয়। কিন্তু বাসনটি ছুঁলে, শব্দ বন্ধ হয়ে যায়; কেননা হাতের স্পর্শে বাসনের কম্পন থেমে যায়।

কম্পনের ফলে উৎপন্ন শব্দ মাধ্যম দিয়ে তরঙ্গরূপে প্রবাহিত হয়—একথাও আমরা জানি। কিন্তু এই তরঙ্গের উৎপত্তি হয় কি কারণে? শব্দের তরঙ্গ-গতির মূল কারণ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতা। অর্থাৎ শব্দ-তরঙ্গ প্রকৃতপক্ষে একটি স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ (elastic wave)।

বিষয়টি আর একটু গভীরভাবে দেখা যাক। মনে কর AB একটি আয়তাকার প্রস্থচ্ছেদের মাধ্যম; A প্রান্তে শব্দতরঙ্গ আপতিত হচ্ছে। আপতিত শব্দতরঙ্গ প্রকৃতপক্ষে A প্রান্তে মাধ্যমের উপর একটি অতিরিক্ত চাপ সৃষ্টি করে। এই অতিরিক্ত চাপ এবং তার দরুণ উৎপন্ন বলের প্রভাবে A প্রান্তে মাধ্যমের কণাগুলি তাদের সাম্য অবস্থা থেকে ডান দিকে সরে যেতে চায়। ফলে সমগ্র প্রান্তীয় স্তরটি ডান দিকে কিছুটা সরে আসে। প্রান্তীয় স্তরের পরবর্তী স্তরগুলিও, যেমন MN এবং OP, কিছুটা ডান দিকে সরে। এই সরণের পরিমাণ প্রান্তসীমা থেকে স্তরগুলির দূরত্বের দ্বারা নির্ধারিত হয়।

চিত্র 55

আপতিত শব্দতরঙ্গের অর্ধ-পর্যায়কাল কেটে যাওয়ার পর প্রান্তীয় স্তর A-র উপর শব্দ-প্রযুক্ত বলের মান হ্রাস পায়। সরণ সৃষ্টিকারী এই বলের অপসারণ ক্রিয়ায় মাধ্যমের স্তরগুলি তাদের সাম্য অবস্থায় ফিরতে চায়। কিন্তু অর্জিত গতির দরুন সাম্য অবস্থানে ফিরে না থেমে কিছুটা বাঁ দিকে সরে এসে গতিহীন

হয়। তখন আবার ডানদিকে যাত্রা শুরু হয়। এভাবে মাধ্যমের বিভিন্ন স্তরগুলি কম্পিত হয়ে তরঙ্গের সাহায্যে শব্দকে A প্রান্ত থেকে B প্রান্তে পৌঁছে দেয়।

তাহলে মাধ্যমের স্তরগুলির কম্পনই শব্দ তরঙ্গের উৎপত্তির কারণ। কিন্তু স্তরগুলি কাঁপে কেন? এই কম্পন মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতা ধর্মের দরুণ। বস্তুর স্থিতিস্থাপকতা ধর্ম না থাকলে এই কম্পন সম্ভব হত না এবং শব্দতরঙ্গ মাধ্যম দিয়ে যেতে পারতো না। একটি উদাহরণের সাহায্যে বিষয়টি স্পষ্ট করা যাক।

ছোট ছোট কতকগুলি মার্বেলকে স্প্রীং-এর সাহায্যে যুক্ত করে একটি ঘনক A-B বানানো হলো। এবার AB-র উপর স্পর্শকভাবে চাপ প্রয়োগ করে তাকে ডানদিকে টেনে ছেড়ে দিলে দেখা যাবে ঘনকটি কম্পিত হচ্ছে। কিন্তু এক প্যাকেট তাসের উপর অনুরূপ চাপ প্রয়োগ করলে তাসের প্যাকেটটি কম্পিত না হয়ে বিকৃত অবস্থাতেই থেকে যায়। এ থেকে বোঝা যায় যে, স্থিতিস্থাপকতার অভাবে পূর্বাবস্থা ফিরে পাওয়ার চেষ্টা ব্যাহত হওয়ায় তাসের প্যাকেট কম্পিত হতে পারে না, এবং ঘনকটি যে কম্পিত হয় তার কারণ স্থিতিস্থাপকতা। অতএব সিদ্ধান্ত করা যায় যে, **শব্দতরঙ্গ বস্তুত স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ।**

A B

চিত্র 56

6.2 বায়ুতে শব্দের বেগ (Velocity of sound in air)

শব্দ তরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ—এ কথা ধরে নিয়ে তাত্ত্বিক আলোচনার সাহায্যে নিউটন প্রমাণ করেন যে, কোন মাধ্যমে শব্দের বেগ $c=\sqrt{E/\rho}$; $E=$ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক এবং $\rho=$ মাধ্যমের ঘনত্ব।

গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ সৃষ্টি করে বিস্তার লাভ করে এবং গ্যাসের ক্ষেত্রে শুধু আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক K-ই আছে। কাজেই গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ

$$c=\sqrt{\frac{K}{\rho}}\,.$$

গ্যাসে ক্রমান্বয়ে তনূভবন ও ঘনীভবনের সাহায্যে শব্দ বিস্তার লাভ করে। গ্যাসের এই আয়তন পরিবর্তনকে নিউটন সমোষ্ণ পরিবর্তন (isothermal change) হিসাবে কল্পনা করেন। মনে কর, বায়ুর একটি স্তরের স্বাভাবিক চাপ ও আয়তন যথাক্রমে P ও V; ঘনীভবনের ফলে চাপ $P+p$ তে এবং আয়তন $V-v$ তে পরিবর্তিত হল। কিন্তু গ্যাসের সমোষ্ণ পরিবর্তনের ক্ষেত্রে, বয়েলের সূত্রানুসারে,

চিত্র 57

$$PV=(P+p)(V-v)=PV+pV-Pv-pv$$

বা $$Pv=pV-pv$$

$$=pV \quad (\text{ক্ষুদ্র রাশি } pv \text{ বর্জন করে})$$

$$\therefore \quad P=\frac{pV}{v}=\frac{p}{v/V}$$

কিন্তু p = পীড়ন এবং v/V = আয়তন বিকৃতি। সুতরাং $P=K$.

অতএব বায়ুতে শব্দের বেগ $c=\sqrt{\frac{K}{\rho}}=\sqrt{\frac{P}{\rho}}$.

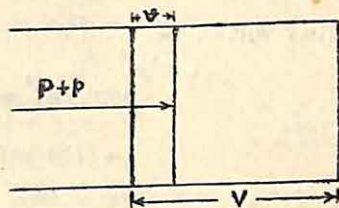
নিউটনের এই সূত্র অনুযায়ী গণনা করলে স্বাভাবিক চাপ ও ঘনত্বে বায়ু-মাধ্যমে শব্দের বেগ হওয়া উচিত

$$c=\sqrt{\frac{P}{\rho}}=\sqrt{\frac{76\times13{\cdot}6\times981}{{\cdot}001293}}$$

$$=280 \text{ মিটার/সেকেণ্ড (প্রায়)}$$

কিন্তু মুক্ত বায়ুতে পরীক্ষা দ্বারা নির্ণীত শব্দের বেগ 332 মি/সে। এ থেকে বোঝা যায় যে, বায়ুতে শব্দের বেগ গণনার ক্ষেত্রে নিউটনের ধারণায় কোথায়ও কিছু ভুল আছে।

6.3 লাপলাসের সংশোধন (Laplace's correction)

নিউটন সূত্রের ত্রুটি নিরূপণ ও সংশোধন করেন লাপলাস। নিউটন সিদ্ধান্ত করেছিলেন যে, শব্দের দরুন গ্যাসে উৎপন্ন তনূভবন ও ঘনীভবন সমোষ্ণ প্রক্রিয়া। কিন্তু লাপলাস বলেন যে, এই ঘনীভবন অত্যন্ত দ্রুত সংঘটিত হয় বলে এগুলি রুদ্ধতাপ (adiabatic) প্রক্রিয়া, সমোষ্ণ নয়।

রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে গ্যাসের চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক $PV^{\gamma}=$ ধ্রুবক। এখানে γ গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাত অর্থাৎ $\gamma=C_p/C_v$।

$$\text{ফলে } PV^{\gamma}=(P+p)\,(V-v)^{\gamma}$$
$$=(P+p)V^{\gamma}\left(1-\frac{v}{V}\right)^{\gamma}$$
$$=(P+p)V^{\gamma}\left(1-\frac{\gamma v}{V}\right)$$

(v/V ক্ষুদ্ররাশি বলে এর উচ্চতর ঘাত বর্জন করা হয়েছে)

$$\therefore\quad P=(P+p)\left(1-\frac{\gamma v}{V}\right)=P+p-\frac{\gamma Pv}{V}-\frac{\gamma pv}{V}$$

$$\therefore\quad 0=p-\frac{\gamma Pv}{V}$$ (ক্ষুদ্ররাশি pv-যুক্ত চতুর্থ পদ বর্জন করে)

$$\therefore\quad \frac{\gamma Pv}{V}=p \quad \text{বা,} \quad \gamma P=\frac{p}{v/V}$$

$$\text{কিন্তু } \frac{p}{v/V}=\frac{\text{পীড়ন}}{\text{আয়তন বিকৃতি}}=K \quad \therefore\quad K=\gamma P$$

অতএব, লাপলাসের সংশোধন অনুযায়ী গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ

$$c=\sqrt{\frac{K}{\rho}}=\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

বায়ুর ক্ষেত্রে $\gamma=1.41$; কাজেই, লাপলাসের সূত্রানুযায়ী, স্বাভাবিক চাপ ও ঘনত্বে বায়ুতে শব্দের বেগ

$$c=\sqrt{\frac{1{\cdot}41\times76\times13{\cdot}1\times981}{{\cdot}001293}}=332 \text{ মিটার/সে (প্রায়)।}$$

এই মান পরীক্ষালব্ধ মানের সঙ্গে সুন্দর মিলে যায়।

6.4 গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগের উপর বিভিন্ন প্রভাব (Factors affecting velocity of sound in gases)

গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ সম্পর্কে লাপলাসের সংশোধিত সূত্র হচ্ছে

$$c=\sqrt{\gamma P/\rho}$$

উষ্ণতার প্রভাব: চাপ অপরিবর্তিত রেখে উষ্ণতা পাল্টালে গ্যাসের ঘনত্ব পরিবর্তিত হয়। ধরা যাক, 0° সেন্টিগ্রেডে কোন গ্যাসের চরম ঘনত্ব ρ_0 এবং t°

সেন্টিগ্রেডে ঘনত্ব ρ_t। ঐ দুই উষ্ণতায় শব্দের বেগ যথাক্রমে c_o এবং c_t হলে,

$$c_o = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_o}} \qquad c_t = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_t}}$$

$$\therefore \frac{c_t}{c_o} = \sqrt{\frac{\rho_o}{\rho_t}} = \sqrt{\frac{\rho_t(1+\alpha t)}{\rho_t}} \qquad \ldots(1)$$

(α=গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক)

অর্থাৎ $c_t = c_o(1+\alpha t)^{\frac{1}{2}}$

$= c_o(1+\frac{1}{2}\alpha t)$ (αt-এর উচ্চতর ঘাত বর্জন করে)

বায়ুর ক্ষেত্রে $\alpha = 1/273 = \cdot 00366/°C \quad \therefore \; c_t = c_o(1+\cdot 00183t)$

$0°C$ উষ্ণতায় বায়ুতে শব্দের বেগ $c_o = 332$ মিটার/সেকেণ্ড

$\therefore \; c_t = 332(1+\cdot 00183t) = (332+\cdot 61t)$ মিটার/সেকেণ্ড।

অর্থাৎ **প্রতি 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য শব্দের বেগ প্রতি সেকেণ্ডে 0·61 মি. বা 61 সেমি. বৃদ্ধি পায়।**

উষ্ণতার প্রভাব অন্য এক ভাবেও প্রকাশ করা চলে।

যেহেতু $\alpha = 1/273$, (1) থেকে $\frac{c_t}{c_o} = \sqrt{\frac{273+t}{273}} = \sqrt{\frac{T}{T_o}}$

কাজেই গ্যাসীয় মাধ্যমে **শব্দের বেগ চরম উষ্ণতার বর্গমূলের সমানুপাতী।**

চাপের প্রভাব : উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকলে বয়েলের সূত্র অনুসারে P/ρ বা P/ρ একটি ধ্রুবক হয়। সুতরাং উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকলে চাপ বাড়লেও শব্দের বেগ $c\ (=\sqrt{\gamma P/\rho})$ অপরিবর্তিত থাকে। পরীক্ষায় এ কথার সত্যতা প্রমাণিত হয়েছে। বেশি উচ্চ চাপে, ধর 50 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে, শব্দের বেগের সামান্য (2·5%) বৃদ্ধি অবশ্য দেখা যায়। এর কারণ বেশি চাপে বয়েল সূত্র খাটে না।

ঘনত্বের প্রভাব : ধরা যাক, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ও চাপে দুটি গ্যাসের ঘনত্ব ρ_1 এবং ρ_2। ঐ গ্যাস দুটিতে শব্দের বেগ যথাক্রমে c_1 এবং c_2 হলে

$$c_1 = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_1}} \text{ এবং } c_2 = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_2}} \quad \therefore \; \frac{c_1}{c_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}$$

অর্থাৎ একই চাপ ও উষ্ণতায় দুটি গ্যাসে **শব্দের বেগ গ্যাস দুটির ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক।**

আর্দ্রতার প্রভাব : বায়ুর আর্দ্রতা বৃদ্ধি পেলে অর্থাৎ বায়ুতে জলীয়

বাষ্পের পরিমাণ বাড়লে বায়ুর ঘনত্ব কমে যায়। কাজেই শুকনো বায়ুতে শব্দের বেগ ভিজে বায়ুতে বেগের তুলনায় কম।

ধর, p = সংশ্লিষ্ট উষ্ণতায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ এবং P = আর্দ্র বায়ুর চাপ। ρ_d, ρ_m যথাক্রমে শুষ্ক ও ভিজে বায়ুর ঘনত্ব।

অতএব প্রতি সি. সি. ভিজে বায়ুতে শুকনো বায়ু ও জলীয় বাষ্পের অনুপাত যথাক্রমে $(P-p)/P$ এবং p/P। অতএব একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় 1 সি. সি. ভিজে বায়ুর ভর হল

$$\rho_m = \frac{(P-p)\rho_d}{P} + \frac{p \times 0.62\rho_d}{P}$$

$$= \frac{(P-0.38p)\rho_d}{P} \quad (\because \rho_d : \rho_m = 1 : 0.62)$$

$$\therefore \frac{c_d}{c_m} = \sqrt{\frac{\gamma P/\rho_d}{\gamma P/\rho_m}} = \sqrt{\frac{\rho_m}{\rho_d}} = \sqrt{\left(\frac{P-.38p}{P}\right)} = \sqrt{1-\frac{0.38p}{P}}$$

$$\therefore c_d = c_m(1-0.189\ p/P) \quad .... (2)$$

গ্যাসের প্রকৃতির প্রভাব : লাপলাসের সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, শব্দের বেগ ঘনাঙ্ক ρ-এর বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতী এবং γ-র বর্গমূলের সমানুপাতী। সব গ্যাসের γ সমান নয়। এক-পরমাণুক গ্যাসে $\gamma = 1.66$; দ্বি-পরমাণুক গ্যাসে $\gamma = 1.41$, আর বহু-পরমাণুক গ্যাসে আরও কম। আবার, গ্যাসের ঘনাঙ্ক আণবিক গুরুত্বের সমানুপাতী। কাজেই গ্যাসে শব্দের বেগ ঐ গ্যাসের আণবিক গঠন ও আণবিক গুরুত্বের (অর্থাৎ গ্যাসের প্রকৃতির) উপর নির্ভরশীল।

বায়ু প্রবাহের প্রভাব : মাধ্যমের বেগের উপরও শব্দের বেগ নির্ভর করে। মাধ্যমের বেগের অভিমুখ শব্দের গতির অনুকূলে বা প্রতিকূলে হলে শব্দের বেগ বাড়ে বা কমে। স্থির মাধ্যমে শব্দের বেগ c এবং মাধ্যমের বেগ ω হলে পর্যবেক্ষণ-লব্ধ চরম ও অবম বেগ যথাক্রমে $c+\omega$ এবং $c-\omega$।

লক্ষ্য কর : শব্দের বেগের উপর বিভিন্ন বিষয়ের প্রভাব আলোচনার ... ত্র নিম্নোক্ত পদ্ধতিও অনুসরণ করা চলে।

শব্দের বেগ $c = \sqrt{\gamma P/\rho} = \sqrt{\gamma R_0 T/M}$ ($\because \rho = M/V$ এবং $PV = R_0 T$)

এখানে M = আণবিক গুরুত্ব, V = এক গ্রাম-অণুর আয়তন, R_0 = সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক, T = চরম উষ্ণতা। উপরের সমীকরণ থেকে স্পষ্টত

(i) গ্যাসে শব্দের বেগ **চাপের উপর নির্ভর করে না।**

(ii) গ্যাসে শব্দের বেগ **চরম উষ্ণতার বর্গমূলের সমানুপাতী।**

(iii) গ্যাসে শব্দের বেগ **গ্যাসের প্রকৃতি ও আণবিক গুরুত্বের উপর নির্ভর করে।**

কম্পাঙ্ক ও প্রাবল্যের প্রভাব ঃ শ্রাব্য শব্দের ক্ষেত্রে বেগ **কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে না।** তা ছাড়া, সাধারণ শব্দের ক্ষেত্রে বেগ **প্রাবল্যের উপরও নির্ভরশীল নয়।** কিন্তু শব্দোত্তর শব্দের ক্ষেত্রে কম্পাঙ্ক বাড়লে বেগ সামান্য বাড়ে। প্রাবল্য প্রচণ্ড হলে (যেমন বিস্ফোরণের শব্দ) দেখা যায় যে, উৎসের কাছে বেগ স্বাভাবিকের চেয়ে কিছুটা বেশি, কিন্তু উৎস থেকে দূরে গেলে বেগ কমে গিয়ে শেষে স্বাভাবিক মান গ্রহণ করে। এর কারণ সম্ভবত স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক k তখন আর ধ্রুবক হয় না এবং $c=\sqrt{k/\rho}$ সমীকরণ খাটে না।

6.5 বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয়
(Determination of velocity of sound)

আলোর বেগ প্রচণ্ড; শব্দের তুলনায় প্রায় দশ লক্ষ গুণ বেশি। কাজেই, অল্প দূরত্ব অতিক্রম করতে আলোক সময় নেয় না ধরলে খুব ভুল হয় না। এই তথ্যের উপর ভিত্তি করে প্রথম শব্দের বেগ নিরূপণ করেন ফরাসী বিজ্ঞানী মার্সেনি।

দুটি নির্দিষ্ট স্থান A ও B নির্বাচন করা হবে। A স্টেশনে এক ব্যক্তি বন্দুক ছুঁড়বেন। B স্টেশনে অপেক্ষারত দ্বিতীয় ব্যক্তি ঐ বন্দুকের ঝলকানি দেখে তাঁর হাতের স্টপওয়াচ (stop watch) চালু করবেন এবং বন্দুকের আওয়াজ শোনবার সঙ্গে সঙ্গে স্টপওয়াচ বন্ধ করবেন। এটি হল পরীক্ষার প্রথম প্রস্থ।

দ্বিতীয় প্রস্থে, B স্টেশনের ব্যক্তি বন্দুক ছুঁড়বেন এবং A স্টেশনের ব্যক্তি অনুরূপভাবে স্টপওয়াচ চালু ও বন্ধ করবেন।

ধর, A ও B এই স্থান দুটির ব্যবধান $=d$

পরীক্ষাকালীন বায়ুপ্রবাহের বেগ $=v$ (বায়ু A→B বইছে)

শব্দের A থেকে B-এ পৌঁছতে সময় $=t_1$ (স্টপওয়াচ থেকে)

শব্দের B থেকে A-তে পৌঁছতে সময় $=t_2$ (স্টপওয়াচ থেকে)

স্থির বায়ুতে শব্দ তরঙ্গের বেগ $=c$

$$\therefore\ t_1=\frac{d}{c+v}\ \text{এবং}\ t_2=\frac{d}{c-v} \qquad \cdots(I)$$

$$\therefore\ c+v=\frac{d}{t_1}\ \text{এবং}\ c-v=\frac{d}{t_2} \qquad \cdots(II)$$

(II) নং সেটের সমীকরণদ্বয় যোগ করে, $2c=d\left(\frac{1}{t_1}+\frac{1}{t_2}\right)$

$$\therefore\quad c=\frac{d}{2}\left(\frac{1}{t_1}+\frac{1}{t_2}\right)$$

দ্রষ্টব্য ঃ পরবর্তী কালে বিজ্ঞানী রেনোর হাতে শব্দের বেগ নির্ণয়ের এই প্রত্যক্ষ পদ্ধতির আরও উন্নতি ঘটে। রেনো বৈদ্যুতিক পদ্ধতির সাহায্য গ্রহণ ক'রে ব্যক্তি কর্তৃক স্টপওয়াচ চালু ও বন্ধ করার স্থূল ও ত্রুটিপূর্ণ ব্যবস্থাটি দূর করেন। পরে শব্দের ব্যতিচার ধর্মকে কাজে লাগিয়ে বৈদ্যুতিক ব্যবস্থায় বিজ্ঞানী হেব বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয়ের এক অতি সূক্ষ্ম পদ্ধতি প্রবর্তন করেন।

অন্যান্য পদ্ধতি—অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ, কুইঙ্কের পরীক্ষা ইত্যাদি পরোক্ষ পদ্ধতিতেও শব্দের বেগ নির্ণয় করা যায়। সেগুলি আমরা আগে দেখেছি।

6.6 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. অক্সিজেন ও হাইড্রোজেনে শব্দের বেগের তুলনা কর।

ধরা যাক, c_0 = অক্সিজেনে শব্দের বেগ ; ρ_0 = অক্সিজেনের ঘনত্ব $=16$
c_h = হাইড্রোজেনে শব্দের বেগ ; ρ_h = হাইড্রোজেনের ঘনত্ব $=1$

$$\therefore\ \frac{c_0}{c_h}=\frac{\rho_0}{\rho_h}=\frac{1}{16}=\frac{1}{4}$$

উদা. 2. 50°C উষ্ণতায় এবং 70 সেমি পারদের চাপে শব্দের বেগ নির্ণয় কর। (স্বাভাবিক চাপে ও উষ্ণতায় শব্দের বেগ = 1090 ফুট/সেকেণ্ড)।

চাপের সঙ্গে শব্দের বেগ পরিবর্তিত হয় না। সুতরাং এক্ষেত্রে উষ্ণতার দরুন বেগের পরিবর্তন হবে।

এখন $c_t=c_0(1+\frac{1}{2}\alpha t)$, $\alpha=\frac{1}{273}$; এখানে $c_0=1090$ ফুট/সেকেণ্ড

$\therefore\ c_t=1090(1+\frac{1}{2}\times\frac{1}{273}\times 50)=$ **1190 ফুট/সেকেণ্ড**

উদা. 3. 27°C উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পদ্বারা সম্পৃক্ত বায়ুতে শব্দের বেগ কত হবে ? (ঐ উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 11·2 মিমি)।

27° সেন্টিগ্রেডে শুষ্ক ও আর্দ্র বায়ুতে শব্দের বেগ যথাক্রমে c_d এবং c_m হলে $c_d = c_m \left(1-0\cdot89\frac{p}{P}\right)$

$$=c_m\left(1-0\cdot189\times\frac{1\cdot12}{76}\right)=c_m\times0\cdot997$$

এখন $c_d=c_o+0\cdot61t=332+0\cdot61\times27=348$ মিটার/সে.

$\therefore\ 348=c_m\times0\cdot997 \qquad \therefore\ c_m=\frac{348}{0\cdot997}=$**350 মিটার**

উদা. 4. দূরের কোন টাওয়ারের তোপধ্বনি শুনে একজন লোক তার ঘড়ি মিলিয়ে দেখলো যে, ঘড়ি 2 সেকেণ্ড পিছিয়ে আছে। বায়ুর উষ্ণতা যদি 15° সেন্টিগ্রেড হয় এবং 0° সেন্টিগ্রেডে শব্দের বেগ যদি সেকেণ্ডে 332 মিটার হয়, তবে টাওয়ারের দূরত্ব নির্ণয় কর।

আমরা জানি $c_t=c_0(1+\alpha t)^{\frac{1}{2}}$

$\therefore\ c_{15}=332\left(1+\frac{1}{2}\times\frac{1}{273}\times15\right)=341\cdot15$ মি./সে

$\therefore$ টাওয়ারের দূরত্ব $=341\cdot15\times2=682\cdot3$ **মিটার**

উদা. 5. বৃহস্পতি গ্রহের বায়ুমণ্ডল মূলত $-130°$ সেন্টিগ্রেড উষ্ণতার মিথেন (CH_4) গ্যাস দিয়ে গঠিত। ঐ গ্রহে শব্দের বেগ নির্ণয় কর। (মিথেনের $\gamma=1\cdot3$ এবং $R=8\cdot3$ জুল/সেন্টিগ্রেড/গ্রাম অণু)।

$$\therefore\ c=\sqrt{\frac{\gamma R_0 T}{M}}$$

মিথেনের ক্ষেত্রে $\gamma=1\cdot3,\ M=16$ এবং $T=-130°+273=143°K$

$\therefore\ c=\sqrt{\frac{1\cdot3\times8\cdot3\times10^7\times143}{16}}=$**310·6 মিটার/সেকেণ্ড**

উদা. 6. রেল লাইনের উপরে রাখা একটি বিস্ফোরক পদার্থ ফেটে যাওয়ার শব্দ এক কিলোমিটার দূরবর্তী (এবং লাইনে কান লাগিয়ে রাখা) এক ব্যক্তি দু-বার শুনতে পায়। ঘটনাটি ব্যাখ্যা কর। দু'বার শোনার মধ্যে সময়ের ব্যবধান নির্ণয় কর (ইস্পাতের $Y=2\times10^{12}$ ডাইন/সেমি², $\rho=7\cdot8$)।

বিস্ফোরণের শব্দ বায়ু মাধ্যমে এবং ইস্পাতের রেল মাধ্যমে এই দু-ভাবে আসে বলে লোকটি দু-বার শব্দ শুনতে পায়।

রেলে শব্দের বেগ $c_r=\sqrt{\frac{Y}{\rho}}=\sqrt{\frac{2\times10^{12}}{7\cdot8}}=5064$ মি./সে.

সুতরাং রেল বেয়ে 1 কিলোমিটার দূরত্ব যেতে শব্দের $1000 \div 5064 = 0{\cdot}1974$ সেকেণ্ড লাগে।

বায়ুর $\rho = 0{\cdot}0013$ গ্রাম/সিসি.; $\gamma = 1{\cdot}4$ এবং বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপ $= 10^6$ ডাইন/বর্গ সেমি.।

$$\therefore \text{ বায়ুতে শব্দের বেগ } c_a = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} = \sqrt{\frac{1{\cdot}4 \times 10^6}{0{\cdot}0013}} = 328{\cdot}4 \text{ মি./সে.}$$

সুতরাং বায়ুপথে 1 কিলোমিটার দূরত্ব অতিক্রম করতে শব্দের লাগবে $1000 \div 328{\cdot}4 = 3{\cdot}116$ সেকেণ্ড।

$\therefore$ সময়ের ব্যবধান $= 3{\cdot}116 - 0{\cdot}1974 = 2{\cdot}9186$ **সেকেণ্ড**

অনুশীলনী

1. শব্দতরঙ্গ স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ—ব্যাখ্যা কর।

2. গ্যাসে শব্দের বেগ সংক্রান্ত সাধারণ সূত্রের উল্লেখ কর এবং নিউটন ও লাপলাসের সমীকরণ আলোচনা কর। (কঃ বিঃ **1967**)

3. শব্দের বেগ সংক্রান্ত নিউটনের সূত্রে লাপলাস কী সংশোধন করেন? লাপলাসের এবং পূর্ব-কল্পনায় কী পার্থক্য?

4. গ্যাসে শব্দের বেগ $c = \sqrt{E/\rho}$, $E =$ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক, $\rho =$ মাধ্যমের ঘনাঙ্ক। দেখাও যে, যদি শব্দের পরিবহণ ক্রিয়া সমোষ্ণ ধরা হয় তবে $E =$ চাপ। প্রক্রিয়াটি আর কিরূপ ধরা যায়? কোন্ ধারণাটি সত্যি, কোন্‌টি ভুল? (বেনারস, 1953)

5. মাধ্যমের উষ্ণতা, চাপ, ঘনাঙ্ক ও আর্দ্রতার উপর শব্দের বেগ কিভাবে নির্ভরশীল ব্যাখ্যা কর? (গৌহাটি, 1952)

6. বায়ুতে শব্দের বেগ কি কি বিভিন্ন পদ্ধতিতে নির্ণয় করা যায়?

7. 20° সেন্টিগ্রেড উষ্ণ বায়ুতে 512 কম্পাঙ্কের শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। 0° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় শব্দের 332 মিটার/সেকেণ্ড এবং বায়ুর আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক 0·00366। [68·4 সেমি]

8. প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় বায়ুতে শব্দের বেগ 1090 ফুট/সেকেণ্ড। 20°C উষ্ণতায়, 70 সেমি পারদস্তম্ভের চাপে শব্দের বেগ কত? [1190 ফুট/সে.]

9. কত উষ্ণতায় বায়ুতে শব্দের বেগ 0°C-এ বেগের দ্বিগুণ ? [819°C]

10. 1 কিলোমিটার দীর্ঘ একটি লোহার পাইপের এক প্রান্তে রাখা উৎস থেকে উৎপন্ন শব্দ অন্য প্রান্তে 2·8 সেকেণ্ড সময়ের ব্যবধানে দু-বার শোনা গেল। বায়ুতে শব্দের বেগ 330 মিটার/সে. ধরলে লোহায় শব্দের বেগ কত ?
[4342 মি/সে]

11. কোন কুয়োর উপর থেকে একটি ঢিল ছেড়ে দেওয়ার 4 সেকেণ্ড পরে জলে ঢিল পড়ার শব্দ পাওয়া গেল। কুয়োর গভীরতা কত ? [62 মি. (প্রায়)]

12. বিদ্যুচ্চমকের 6 সেকেণ্ড পরে বজ্রধ্বনি শোনা গেল। বায়ুর গড় উষ্ণতা 25°C হলে, কত উর্ধ্বে বিদ্যুচ্চমক ঘটেছিল ? 0°C উষ্ণতায় বায়ুর বেগ 332 মিটার/সেকেণ্ড। (কঃ বিঃ 1965) [2083 মি.]

13. যে উষ্ণতায় বায়ুতে শব্দের বেগ 0° সেণ্টিগ্রেডে বেগের তুলনায় 1·414 গুণ বেশি তা নির্ণয় কর। [273°C]

14. ইস্পাতের ইয়ং গুণাংক $2·14 \times 10^{12}$ ডাইন/বর্গ সেমি এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব 7·8। ইস্পাতে শব্দের বেগ নির্ণয় কর।
(কঃ বিঃ 1962) [5237 মি/সে]

15. স্বাভাবিক চাপ ও উষ্ণতায় বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় কর। বায়ুর $\gamma = 1·4$ এবং স্বাভাবিক চাপ ও উষ্ণতায় বায়ুর ঘনাঙ্ক 0·001293। 10°C-এ বেগ কত ? [332·5 মি/সে ; 338·6 মি/সে]

16. 512 কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকা নিঃসৃত শব্দের বায়ুতে তরঙ্গদৈর্ঘ্য 17°C-এ 65·5 সেমি.। স্বাভাবিক চাপ ও উষ্ণতায় বায়ুর ঘনাঙ্ক 1·293 গ্রাম / লিটার। বায়ুর দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাত নির্ণয় কর। [1·34]

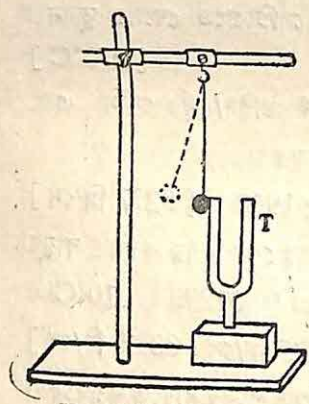
17. যদি 0°C-এ শুকনো বায়ুতে শব্দের বেগ 332 মি/সে. হয় তবে কত উষ্ণতায় বেগ 345 মি./সে. হবে ? বায়ুর আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক $= \frac{1}{273}$.
(উৎকল, 1949) [21.40°C]

7 শব্দের উৎস

সপ্তম অধ্যায় (Sources of Sound)

7.1 শব্দের উৎপত্তি (Emission of sound)

দৈনন্দিন অভিজ্ঞতা থেকে আমরা সহজেই বুঝতে পারি যে, শব্দ উৎপাদন-কারী বস্তু কম্পমান অবস্থায় থাকে। বস্তুটি স্পর্শ করলে এই কম্পন অনুভব করা যায়। কম্পন বন্ধ হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে শব্দও বন্ধ হয়ে যায়। এতে প্রমাণিত হয় যে, **বস্তুর কম্পনই শব্দের কারণ**। গভীর ও গম্ভীর শব্দ বিলম্বিত কম্পন এবং তীক্ষ্ণ শব্দ দ্রুততর কম্পনের দ্বারা উৎপন্ন হয়।

T

চিত্র 58

কম্পনই যে শব্দ সৃষ্টির কারণ তা একটি সুরশলাকার সাহায্যে দেখানো যায়। একটি সুতোয় ঝোলানো শোলার বলকে (pith ball) শব্দায়মান সুরশলাকা T-র কোন বাহুর সংস্পর্শে আনো। দেখ, বলটি বারবার আঘাত খেয়ে সরে যাচ্ছে। অর্থাৎ শব্দায়মান সুরশলাকার বাহু দুটি কাঁপছে।

শব্দের উৎস যদি সেকেণ্ডে 20 বারের কম বা 20,000 বারের বেশি কাঁপে তখন উৎপন্ন তরঙ্গ মানুষের কানকে উত্তেজিত করতে পারে না; ফলে আমরা কোন শব্দ শুনতে পাই না। শ্রাব্যতার এই ঊর্ধ্বসীমার উপরের কম্পাঙ্কের তরঙ্গকে **শব্দোত্তর তরঙ্গ** (ultrasonics) বলে।

7.2 শব্দের উৎস (Sources of sound)

নিয়মিত বা অনিয়মিত উভয় প্রকার কম্পনের দ্বারাই শব্দ উৎপন্ন করা যায়। অনিয়মিত কম্পন স্বল্পকালীন; তাদের কোন নিয়মিত বৈশিষ্ট্য নেই। ঘর্ষণ, বিস্ফোরণ, বৈদ্যুতিক স্পার্ক প্রভৃতির দ্বারা এ-জাতীয় শব্দ উৎপন্ন হয়। এই ধরনের শব্দ **সুরবর্জিত শব্দ** (noise)।

নিয়মিত কম্পন দীর্ঘস্থায়ী শব্দ উৎপন্ন করে এবং এর কতকগুলি উল্লেখযোগ্য

বৈশিষ্ট্য থাকে। এরকম শব্দকে **সুরযুক্ত শব্দ** (musical notes) বলে।

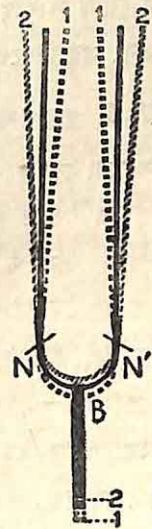
শ্রাব্যতার সীমার মধ্যে কম্পমান সব কিছুকেই শব্দের উৎস হিসাবে গণ্য করা চলে। এই কম্পন তির্যক বা অনুদৈর্ঘ্য দুই-ই হতে পারে। দণ্ড, তার, পর্দা, বায়ুস্তম্ভ ইত্যাদি শব্দের উল্লেখযোগ্য উৎস।

শব্দ উৎপাদনের জন্য সাধারণত কঠিন বস্তু ব্যবহার করা হয়। উৎপন্ন কম্পন বস্তু থেকে বায়ুতে সঞ্চারিত হয়। এই ধরনের বস্তুর কম্পনে বিস্তার সাধারণত ছোট হয়, সঞ্চারিত শক্তির পরিমাণও তাই কম হয়। জোরালো শব্দ উৎপন্ন করার জন্য কম্পনের বিস্তার বেশি হওয়া দরকার এবং বেশ কিছু পরিমাণ বায়ুকে কম্পিত করা প্রয়োজন। শব্দের উৎসকে বোর্ড বা ফাঁপা বাক্সের সঙ্গে যুক্ত (coupled) করে তা করা চলে। অনুনাদের ফলে তখন জোর শব্দ উৎপন্ন হয়। এক্ষেত্রে শক্তির অপচয়ের হার অবশ্য বেশি হয়।

7.3 সুরশলাকা (Tuning fork)

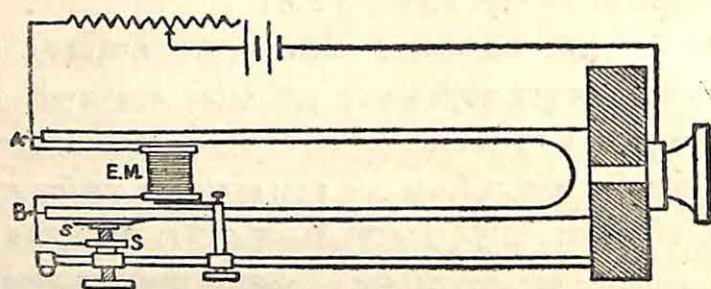
সুরশলাকা ইংরেজী U অক্ষরের আকারে বাঁকানো একটি লম্বা আয়তাকার দণ্ড। দণ্ডটির বাঁকের নিচে একটি বাট B আছে। সুরশলাকা দীর্ঘস্থায়ী নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের সুরযুক্ত শব্দ উৎপন্ন করে। শব্দের উৎস হিসাবে পরীক্ষাগারে এটি খুব ব্যবহৃত হয়। U-এর একটি বাহুকে নরম প্যাডের গায়ে আঘাত করে সুরশলাকাকে উত্তেজিত করা হয়। কম্পনের সময় সুরশলাকার বাহু দুটি একসঙ্গে হয় বাইরের দিকে না হয় ভিতরের দিকে যায়। N, N′ বিন্দু এবং বাটটি উপর-নিচে ওঠানামা করে। সুরশলাকা কাঠের বাক্সের উপর বসিয়ে উৎপন্ন শব্দের প্রাবল্য বাড়ানো হয়।

কম্পমান অংশের ভর বৃদ্ধি করলে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক হ্রাস পায়। কোন সুরশলাকার বাহুতে মোম লাগিয়ে বা বাহু উখো দিয়ে ঘষে কম্পাঙ্ক কমানো-বাড়ানো যায়।

2 1 1 2
N N′
B
2
1

চিত্র 59

7.4 বিদ্যুচ্চালিত সুরশলাকা (Electrically maintained fork)।

সাধারণ সুরশলাকার কম্পন অবশ্য দমিত কম্পন। নিম্ন-কম্পাঙ্কের সুরশলাকার বাহু লম্বা এবং ভারি হয়। তাদের কম্পন এক মিনিটের মত স্থায়ী

হয়। সমবিস্তারে সুরশলাকার কম্পন বজায় রাখতে বাইরে থেকে শক্তি সরবরাহ করা দরকার। তড়িচ্চুম্বকের সাহায্যে তা করা যায়। সুরশলাকার বাহু দুটির মধ্যে তড়িৎচুম্বক রাখা থাকে। নিচের বাহুর সঙ্গে যুক্ত ধাতব তারের

চিত্র 60

সাহায্যে বর্তনী সম্পূর্ণ হয়। বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হওয়া মাত্র চুম্বকের আকর্ষণে নিচের বাহু উপরে উঠে যায় এবং প্রবাহ বন্ধ হয়ে যায়। ফলে নিজের ভারে বাহুটি আবার নেমে আসে। কিন্তু সঙ্গে সঙ্গে প্রবাহ আবার প্রতিষ্ঠিত হয় এবং বাহু উপরে উঠে যায়। এভাবে সমবিস্তারে সুরশলাকা কম্পনশীল থাকে।

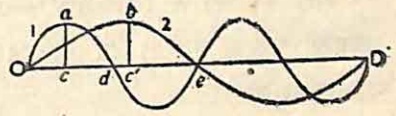
7.5 সুরযুক্ত ও সুরবর্জিত শব্দ (Musical sound and noise)

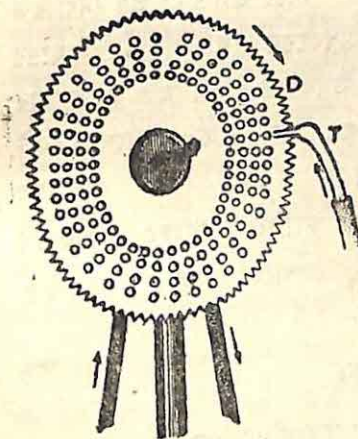
আমরা চারদিকে যে সমস্ত শব্দ শুনতে পাই তাদের সুরযুক্ত ও সুরবর্জিত এই দু-শ্রেণীতে ভাগ করা যায়—একথা আগেই বলা হয়েছে। প্রত্যেক সুর-যুক্ত-শব্দের এমন কতকগুলি বৈশিষ্ট্য আছে যা সুরবর্জিত শব্দে সুস্পষ্ট নয়। সুর-যুক্ত শব্দের বৈশিষ্ট্যগুলি হচ্ছে—**প্রাবল্য** (loudness), **তীক্ষ্ণতা** (pitch) এবং **গুণ বা জাতি বা সুরসমৃদ্ধি** (quality)।

প্রাবল্য—প্রাবল্যের দ্বারা শব্দ কত জোরালো বা ক্ষীণ তা বোঝায়। কানের পর্দায় যে শব্দ যত বেশি বিস্তারের কম্পন উৎপন্ন করে সে শব্দ তত প্রবল বোধ হয়।

শব্দের প্রাবল্য কতকগুলি আনুষঙ্গিক বিষয়ের উপরও নির্ভর করে। উৎসের **কম্পনের বিস্তার** বেশি হলে শব্দের প্রাবল্য বেশি হয়। প্রাবল্য **উৎস থেকে দূরত্বের** বর্গের ব্যস্তানুপাতে হ্রাস পায়। আবার, **অনুনাদী** ও **পরবশ কম্পন** শব্দের প্রাবল্য বাড়িয়ে দেয়। এ ছাড়া, প্রাবল্য **শ্রোতার শ্রবণশক্তির** উপরও নির্ভর করে। একই উৎস থেকে সমান দূরত্বে অবস্থিত

দুই শ্রোতার কাছে শব্দের প্রাবল্য এক মনে না-ও হতে পারে। শব্দ যে মাধ্যম দিয়ে শ্রোতার কাছে পৌঁছয় সেই **মাধ্যমের ঘনত্ব** বেশি হলেও প্রাবল্য বেশি হয়।

তীক্ষ্ণতা—তীক্ষ্ণতার দ্বারা কোন শব্দ কত চড়া বা খাদের সুরবিশিষ্ট তা বোঝায়। তীক্ষ্ণতা সুরের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল। এবং কম্পাঙ্ক দিয়েই তীক্ষ্ণতা প্রকাশ করা হয়। কম্পাঙ্ক যত বাড়ে তীক্ষ্ণতাও তত বেশি হয়। উপরের চিত্রে 1নং তরঙ্গের কম্পাঙ্ক 2নং তরঙ্গের দ্বিগুণ। ওদের প্রাবল্য কিন্তু সমান।

চিত্র 61

তীক্ষ্ণতা নির্ণয় : শব্দের তীক্ষ্ণতা **সীবেক সাইরেনের** (Sebeck's siren) সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। একটি কার্ডবোর্ড বা ধাতুর বড় চাকতি D-র গায়ে অনেকগুলি ছিদ্র বৃত্তাকারে সাজানো থাকে। বৃত্তগুলি চাকতির সঙ্গে সমকেন্দ্রিক। চাকতিকে ইচ্ছামত ধীরে বা জোরে ঘুরানোর ব্যবস্থা আছে। ক'টি সরুমুখ নল বা জেটের ভিতরে দিয়ে সবেগে বায়ু বের করে জেটটি (T) কোন একসারি ছিদ্রের উপর ধরা হয়। নির্গত বায়ু পর্যায়ক্রমে একটি ছিদ্র এবং দুই ছিদ্রের মধ্যবর্তী ছিদ্রহীন অঞ্চলের উপর পড়ে। ফলে চাকতির বিপরীত দিকে পর্যায়ক্রমে তনূভবন ও উৎপন্ন হয়ে শব্দের সৃষ্টি হয়। প্রতি জোড়া তনূভবনে একটি পূর্ণ শব্দ-তরঙ্গের সৃষ্টি লয়।

চিত্র 62

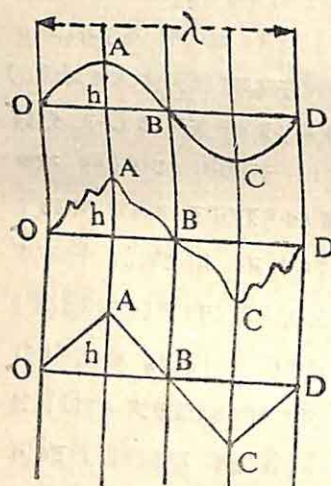
কোন বৃত্তের ছিদ্রসংখ্যা m হলে চাকতির এক আবর্তনে m-সংখ্যক তনূভবন (এবং ঘনীভবন) সৃষ্টি হয় অর্থাৎ m-সংখ্যক কম্পন সৃষ্টি হয়। চাকতি যদি সেকেণ্ডে n-সংখ্যক বার ঘোরে তবে নির্গত শব্দের কম্পাঙ্ক হবে mn।

কোন শব্দের তীক্ষ্ণতা নির্ণয় করতে হলে চাকতির আবর্তন বাড়িয়ে ক্রমশ তীক্ষ্ণতর ধ্বনি উৎপন্ন করা হয়। পরীক্ষাধীন শব্দের সঙ্গে সাইরেন নির্গত শব্দ কখন সমতীক্ষ্ণ হল তা স্থির করা হয়। অভ্যস্ত কান সহজেই এই সমতীক্ষ্ণ অবস্থা ধরতে পারে।

সমতীক্ষ্ণ অবস্থায় সাইরেন নির্গত শব্দের কম্পাঙ্ক যদি mn হয় এবং পরীক্ষাধীন শব্দের কম্পাঙ্ক যদি N হয় তবে, $N = mn$.

শব্দের তীক্ষ্ণতা সোনোমিটারের সাহায্যেও নির্ণয় করা যায়।

গুণ বা জাতি (quality)—একই প্রাবল্যের ও একই কম্পাঙ্কের দুটি সুরযুক্ত শব্দের পার্থক্য যে কারণে বোঝা যায় তাকে শব্দের **গুণ বা জাতি বা স্বরসমৃদ্ধি** বলে।

বেহালা, হারমোনিয়ম ও বাঁশি থেকে একই প্রাবল্যে 'সা' স্বরটি বাজানো হলে, চোখে বাদ্যযন্ত্র না দেখে কেবলমাত্র শব্দ শুনেই বলা যায় যে, শব্দগুলি বিভিন্ন যন্ত্র থেকে আসছে। এর কারণ, প্রাবল্য এবং তীক্ষ্ণতা এক হওয়া সত্ত্বেও বিভিন্ন বাদ্যযন্ত্র নিঃসৃত শব্দের গুণ বা জাতি আলাদা। কোন বাদ্যযন্ত্রই বিশুদ্ধ স্বর উৎপন্ন করে না, মূল সুরের সঙ্গে সব সময় কিছু উপসুর মিশে থাকে। স্বরের জাতি বা গুণ নির্ধারিত হয় ঐ সব উপসুরের সংখ্যা দ্বারা। যে যন্ত্রের উৎপন্ন স্বরে উপসুরের সংখ্যা যত বেশি তার জাতি বা গুণ তত উচ্চে। পাশে তিনটি একই প্রাবল্য এবং একই কম্পাঙ্কের কিন্তু বিভিন্ন জাতির তরঙ্গের চিত্র-রূপ OABCD দেখানো হল। উপস্থিত উপসুরের জন্যই তরঙ্গরূপের ভিন্নতা দেখা দেয়।

চিত্র 63

7.6 শব্দগ্রহণ ও পুনরুৎপাদনের নীতি
(Principle of recording and reproduction)

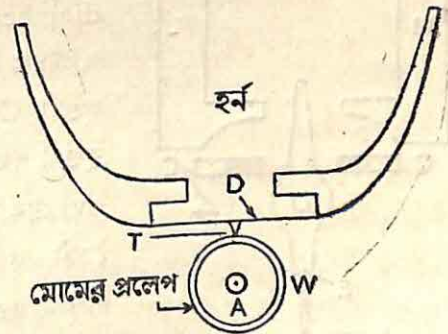
শব্দগ্রহণ পদ্ধতির মূলকথা হল কোন-না-কোন উপায়ে শব্দের তরঙ্গরূপটিকে পুনরুৎপাদনের জন্য সংরক্ষণ করা। শব্দতরঙ্গের সাহায্যে একটি রেকর্ডে স্থায়ী কিছু পরিবর্তন ঘটিয়ে এই সংরক্ষণ কাজটি করা হয়। পরে ঐ স্থায়ী পরিবর্তন চিহ্নগুলো থেকে মূল শব্দকে পুনরুজ্জীবিত করা হয়। একে বলা হয় **প্লে-ব্যাক** (play back)। উল্লিখিত স্থায়ী পরিবর্তন নানাভাবে করা চলে। যেমন যান্ত্রিক উপায়ে দাগ কেটে, চৌম্বক ফিতায় চৌম্বক ধর্মের পরিবর্তন এনে এবং আলোকের সাহায্যে ফিল্মের উপরে চিহ্নপাত করে। এই হিসাবে শব্দগ্রহণ ও পুনরুৎপাদনের

প্রচলিত তিনটি পদ্ধতি হল : (i) **ডিস্ক পদ্ধতি** (disc recording and reproduction) (ii) **চৌম্বকফিতা পদ্ধতি** (magnetic tape recording and reproduction) এবং (iii) **ফিল্ম পদ্ধতি** (film recording and reproduction)

শব্দ তৎক্ষণাৎ অথবা পরবর্তী কোন সময়ে পুনরুৎপাদিত হতে পারে। টেলিফোনে কিংবা লাউডস্পীকারে মূল শব্দের তাৎক্ষণিক পুনরুৎপাদন হয়, কিন্তু গ্রামোফোন রেকর্ডে, সিনেমার ফিল্মে, চৌম্বক ফিতায় শব্দকে পরবর্তী যে কোন সময়ে পুনরুৎপাদিত করা যায়।

7. 7 ফোনোগ্রাফ (Phonograph)

শব্দগ্রহণ ও পুরুৎপাদনের জন্য সর্বপ্রথম 1878 খ্রীস্টাব্দে টমাস আলভা এডিসন ফোনোগ্রাফ আবিষ্কার করেন। এই যন্ত্রের সাহায্যে সঙ্গীত, বক্তৃতা, আবৃত্তি প্রভৃতি রেকর্ড করে তা আবার পরবর্তীকালে শোনানো যায়।

বিবরণ : এই যন্ত্রের মূল অংশ শঙ্কু আকৃতি হর্ন। হর্নের সরুদিকে একটি ধাতব পর্দা D লাগানো। D-র মধ্যস্থলে থাকে লম্বভাবে একটা পিন T ; পিনের তীক্ষ্ণ অগ্রভাগ মোমের প্রলেপযুক্ত একটি ড্রাম W-কে স্পর্শ করে থাকে। একটি হাতলের সাহায্যে ড্রামটিকে A বিন্দুগামী একটি অক্ষের চারধারে ঘোরানো যায়। ড্রাম ঘুরলে মোমের উপর পিনের দাগ পড়ে। ড্রামটি যখন ঘোরে তখন ধীরে ধীরে সে সামনের দিকে এগিয়েও যায়।

চিত্র 64

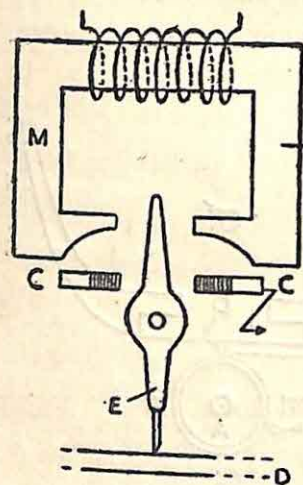
বক্তা বা গায়ক হর্নের সামনে কথা বলে বা গান গায়। শব্দের তীব্রতা অনুযায়ী D পর্দা কম বা বেশি কম্পিত হতে থাকে। সঙ্গে সঙ্গে নিচের T পিনটি ধীরে ধীরে সামনের দিকে এগিয়ে আসা ঘূর্ণ্যমান ড্রামের মোমে বিভিন্ন গভীরতার খাত সৃষ্টি করে। এই হল শব্দের রেকর্ডিং।

শব্দের পুনরুৎপাদনের জন্য ড্রামটিকে পূর্ব অবস্থানে ফিরিয়ে নিয়ে আগের বেগে আবর্তিত করা হয়। *T* পিন মোমে অঙ্কিত খাত বরাবর

অগ্রসর হয় এবং গভীরতা অনুযায়ী কম-বেশি ওঠানামা করে ; ফলে D পর্দা খাত-সৃষ্টিকারী মূল শব্দের তীব্রতা অনুযায়ী আন্দোলিত হয় এবং মূল শব্দ পুনরায় শোনা যায়।

7.8 গ্রামোফোন (Gramophone)

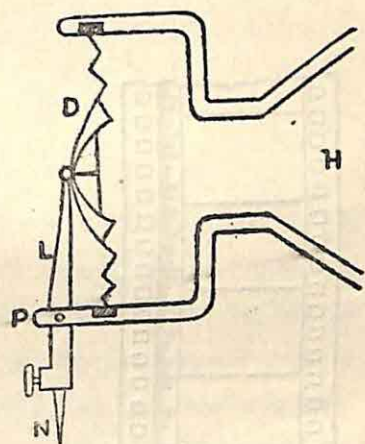
গ্রামোফোনের কার্যনীতি ফোনোগ্রাফের অনুরূপ। তবে ফোনোগ্রাফের তুলনায় গ্রামোফোন অনেক উন্নততর যন্ত্র। এখানে ড্রামের বদলে গোলাকার চাকতি বা ডিস্ক ব্যবহার এবং ক্লক-ওয়ার্ক (clock work) পদ্ধতিতে স্প্রীং-এর সাহায্যে চাকতিটি ঘুরানো হয়। আধুনিক ব্যবস্থায় বৈদ্যুতিক মোটরের সাহায্যে এটি ঘোরে। শব্দের দরুন পর্দায় সঞ্চারিত কম্পনে চাকতির উপর উৎপন্ন খাত চাকতির কেন্দ্র থেকে শুরু হয়ে সর্পিল আকারে পরিধিতে গিয়ে শেষ হয়। চাকতিই হল 'গ্রামফোন রেকর্ড'। তা ছাড়া, এই যন্ত্রে নানাপ্রকার উন্নত যান্ত্রিক ব্যবস্থা যুক্ত থাকে।

আধুনিক ডিস্ক রেকর্ডিং পদ্ধতি—এই পদ্ধতিতে ব্যবহৃত যন্ত্রের প্রধান অংশ হল : (i) নির্দিষ্ট বেগে ঘূর্ণনশীল একটি **গোল টেবিল** (turn table) D (ii) বিশেষ ধরনের নরম মোমে তৈরী একটি **ডিস্ক**। ডিস্কটি টেবিলের উপর বসানো হয় ও টেবিলের সঙ্গে সমবেগে ঘোরে। (iii) একটি **রেকর্ডিং হেড** (recording head) E : এটি একটি কাঁচা লোহার আর্মেচার এবং তড়িৎ-চুম্বক M ও তারের কুণ্ডলী CCর মধ্যে অবস্থান করে। এই কুণ্ডলী শব্দ-উদ্ভূত তড়িৎ তরঙ্গকে বহন করে। (iv) রেকর্ডিং হেড-এর নিম্নাংশে স্যাফায়ারে তৈরী একটি **দণ্ড** বা **স্টাইলাস** (stylus) থাকে। এর সাহায্যে মোমের চাকতিতে দাগ কাটা হয়। গিয়ার পদ্ধতিতে দণ্ডটি পার্শ্বদিকে ঘোরে। যদি দণ্ড কর্তৃক উৎপন্ন দাগের লম্বদিকে দণ্ডের কোন গতি না থাকে তবে দাগগুলি সমগভীর সর্পিলাকার হয়। এই সমগভীরত্বকে শব্দের সাহায্যে নষ্ট করে শব্দের রেকর্ডিং করা হয়।

চিত্র 65

শব্দকে প্রথমে মাইক্রোফোনের সাহায্যে আনুষঙ্গিক পরিবর্তনশীল তড়িৎ

প্রবাহে রূপায়িত করা হয়। যথোচিত বিবর্ধন করে এই প্রবাহকে CC কুণ্ডলীতে সংবাহিত করা হয়। কুণ্ডলীটি এমনভাবে প্যাঁচানো যে, এর ফলে দণ্ডটি পার্শ্বগতি লাভ করে। গতির পরিমাণ তাৎক্ষণিক প্রবাহমাত্রার (কাজেই শব্দের প্রাবল্যের) সমানুপাতিক।

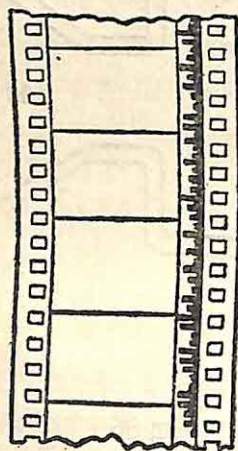
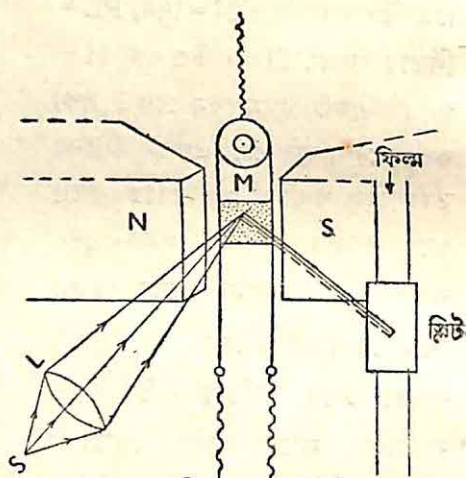
মোমের এই রেকর্ড থেকে ইলেকট্রোপ্লেটিং পদ্ধতিতে ধাতব নেগেটিভ তৈরী করা হয়। পরে তা থেকে তৈরী হয় ধাতব পজিটিভ। ধাতব পজিটিভ থেকে দ্বিতীয় নেগেটিভ বা স্ট্যাম্পার (stamper) তৈরী করে নেয়া হয়। শেষ অবধি যাকে আমরা গ্রামোফোন রেকর্ড বলি তা হল শেলাক (shelac) বা ভিনাইল প্লাসটিকের চাকতির উপর ঐ স্ট্যাম্পারের অনুকৃতি।

শব্দের পুনরুৎপাদন : পাশে গ্রামোফোনে শব্দের পুনরুৎপাদন ব্যবস্থাটি চিত্রায়িত করা হল। N = পিন, PL = লিভার ব্যবস্থা, D = সাউণ্ড বক্স, H = হর্ন। একটি গ্রামোফেন রেকর্ড লক্ষ্য করলে দেখা যায় যে, এখানে পিনের তরঙ্গায়িত পথচিহ্ন গভীরতার বদলে প্রস্থে অসমান। শব্দের পুনরুৎপাদন কালে এই অসমান প্রস্থের দরুন পিনে যে পার্শ্বগতি দেখা দেয় লিভার ব্যবস্থা তাকে বাড়িয়ে সাউণ্ড বক্সে সংবাহিত ক'রে শব্দের জোরালো পুনরাবৃত্তি ঘটায়।

চিত্র 66

7.9 ফিল্মে শব্দগ্রহণ ও পুনরুৎপাদন
(Film recording and reproduction)

সবাক চলচ্চিত্রে যে ফিল্মের উপর ছবি থাকে তার এক পাশে প্রায় 1/10 ইঞ্চি চওড়া অঞ্চলে ফোটোগ্রাফিক পদ্ধতিতে শব্দও গ্রহণ করা হয়। ফিল্মে শব্দগ্রহণের মূল নীতি হল : শব্দের প্রাবল্য এবং কম্পাঙ্ক ফিল্মের শব্দাঞ্চলে নির্ধারিত পরিমাণে ফোটোগ্রাফিক বিক্রিয়া সৃষ্টি করে। পরে ঐ অঞ্চল দিয়ে আলো পাঠিয়ে **ফোটোসেলের** (photo cell) ('আধুনিক পদার্থ বিজ্ঞান' অংশ দেখ) সাহায্যে শব্দের অনুরূপ প্রাবল্য ও কম্পাঙ্কের বিদ্যুৎপ্রবাহ সৃষ্টি করা হয় এবং তার সাহায্যে লাউডস্পীকারকে উত্তেজিত করে শব্দ পুনরুৎপাদিত করাহয়।

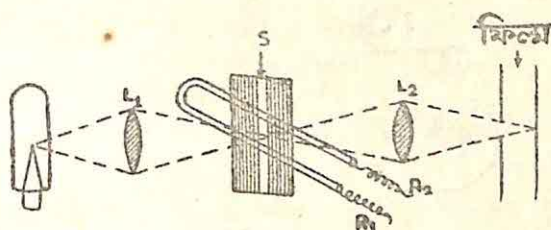
ফিল্মে দু-ভাবে শব্দগ্রহণ করা হয়: (i) **পরিবর্তনীয় ক্ষেত্রফল** পদ্ধতি এবং (ii) **পরিবর্তনীয় ঘনত্ব** পদ্ধতি।

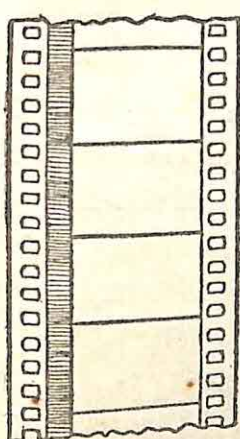
পরিবর্তনীয় ক্ষেত্রফল পদ্ধতি ঃ এতে মাইক্রোফোন-থেকে-আসা শব্দজাত বিদ্যুৎ একটি সরু ফসফোর ব্রঞ্জ (phosphor bronze) ফিতার লুপ (loop) প্রবেশ করিয়ে দেওয়া হয়। একটি ছোট হস্তিদন্তের কপিকলে ফিতে পড়িয়ে লুপটি তৈরি করা হয়। লুপটির অবস্থান একটি শক্তিশালী চুম্বকের দুই মেরু S ও N এর মধ্যে এবং লুপটিতে একটি দর্পণ M লাগনো থাকে। বিদ্যুৎ প্রবাহের পরিমাণের উপর নির্ভর ক'রে এ ফসফোর ব্রঞ্জ লুপটি প্রবাহের সঙ্গে বিভিন্ন পরিমাণে আবর্তিত হয়; সঙ্গে সঙ্গে দর্পণও আবর্তিত হয়।

চিত্র 67

চিত্র 68

S আলোক-উৎস থেকে L মাধ্যমে M দর্পণে প্রতিফলিত হয়ে আলোক একটি স্লিটের মাধ্যমে ফিল্মে গিয়ে পড়ে এবং ফিল্মে স্লিটের প্রতিবিম্ব গঠন করে। শব্দের প্রাবল্য অনুসারে মাইক্রোফোনে উৎপন্ন বিদ্যুতের পরিমাণ নির্দিষ্ট হয় এবং তদনুযায়ী চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত ফসফোর ব্রঞ্জ লুপের আবর্তন ঘটে। ফলে M দর্পণের দ্বারা প্রতিফলিত আলোকরশ্মি ফিল্মের ভিন্ন ভিন্ন ক্ষেত্রফল আলোকিত ক'রে শব্দাঞ্চল উৎপন্ন করে। এই সঙ্গে সমবেগে ফিল্মকে টেনে নেওয়া হয়। ফলে ফিল্মের গা বরাবর শব্দাঞ্চলটি উৎপন্ন হয়।

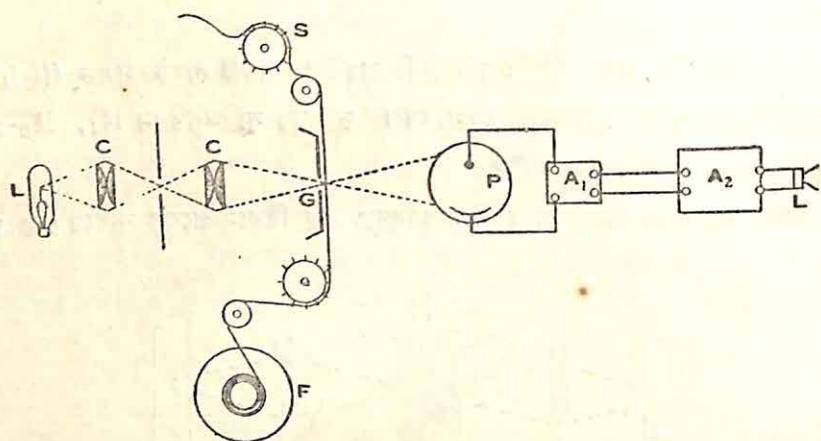
পরে এই ফিল্ম 'ডেভলেপ' ক'রে নেগেটিভ রেকর্ড তৈরি করা হয় এবং তা থেকে বানানো হয় পজিটিভ।

পরিবর্তনীয় ঘনত্ব পদ্ধতি: এতে ফিল্মের উপর একটি লাইট ভালভ্ (light valve) এর সাহায্যে আলো ফেলা হয়। দুটি ডুরালুমিন রিবন R_1, R_2-র সাহায্যে এই লাইট ভালভ গঠিত।

শব্দ কর্তৃক মাইক্রোফোনে উৎপন্ন বিদ্যুৎ এই রিবনে প্রবেশ করিয়ে দেওয়া

চিত্র 69

হয়। রিবনটি একটি স্থায়ী চৌম্বক ক্ষেত্রে থাকে বলে তার মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুতের প্রাবল্য অনুযায়ীরিবন দুটির দূরত্ব কম-বেশি হয়। ফলে উলম্ব S স্লিট দিয়ে সমবেগে গতিশীল ফিল্মের গায়ে আপতিত আলোর প্রাবল্যও কম-বেশি হয়। পরিবর্তিত প্রাবল্যের রশ্মিগুচ্ছের আপতনে ফিল্মের গায়ে পরিবর্তনীয় অনচ্ছতাযুক্ত (variable opacity) সমান্তরাল দাগ পাওয়া যায়। এগুলি শব্দের ছাপ। এগুলির অনচ্ছতা মূলশব্দের তীব্রতাকে এবং প্রতি সেন্টিমিটারে দাগের সংখ্যা শব্দের কম্পাঙ্ককে প্রকাশ করে।

চিত্র 70

শব্দের পুনরুৎপাদন: শব্দগ্রহণকালে ফিল্মটিকে যে বেগে টানা হয়েছিল পুনরুৎপাদনের সময় সেই বেগে টানা হয়। L বাতি থেকে উজ্জ্বল আলোককে CC লেন্স ও G স্লিট ব্যবস্থায় একটি অতি সূক্ষ্ম গুচ্ছে পরিণত করে ফিল্মের শব্দাঞ্চলে ফেলা হয়। শব্দ-রেখার ঘনত্ব বা ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে ফিল্ম থেকে বিভিন্ন পরিমাণ আলো নির্গত হয়। এই আলো গিয়ে ফোটো সেল P-তে পড়ে। আপতিত আলোর তীব্রতা অনুসারে ফোটো সেল ওকে তড়িৎপ্রবাহে পরিণত করে।

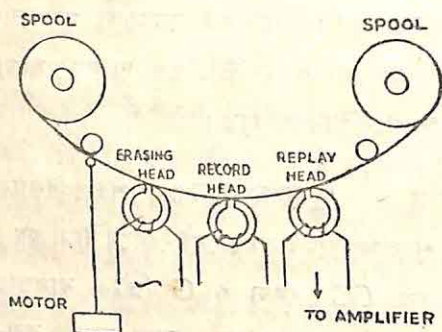
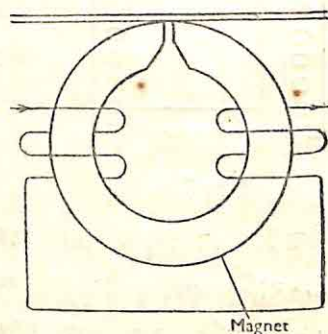
বিবর্ধক A_1A_2-র সাহায্যে এই প্রবাহকে বিবর্ধিত করে লাউডস্পীকার

চিত্র 71

L-এ পাঠানো হয়। স্পীকার তখন তড়িৎ শক্তিকে শব্দে রূপান্তরিত করে শ্রাব্য করে তোলে।

টেপ রেকর্ডিং (Tape recording): এটি শব্দগ্রহণ ও পুনরুৎপাদনের সর্বাধুনিক ব্যবস্থা। এই যন্ত্রের প্রধান প্রধান অংশগুলো হল:

(a) একটি **চৌম্বক ফিতা (magnetic tape):** প্লাস্টিক ফিতার উপর Fe_3O_4 প্রলেপযুক্ত এই ফিতাকে মোটরের সাহায্যে একটি নির্দিষ্ট বেগে (সেকেণ্ডে 1·5 মিটার) টেনে নেওয়া হয়। একটি স্পুলে (spool) যখন ফিতা খোলে, অপরটিতে তখন গুটিয়ে যায়।

চিত্র 72

চিত্র 73

(b) **ইরেজিং হেড (Erasing head):** ফিতার আগের চুম্বকত্ব মুছে

শব্দগ্রহণের জন্য ফিতাকে তৈরি রাখা এর কাজ। স্পুল থেকে স্পুলে যেতে ফিতাকে প্রথমে এই হেডের সামনে দিয়ে যেতে হয়।

(c) **রেকর্ডিং হেড** (Recording head): মাইক্রোফোন থেকে আগত এবং বিবর্ধিত তড়িৎপ্রবাহের সাহায্যে এটি চৌম্বক ক্ষেত্রের পরিবর্তন ঘটায়। কাজেই এর সঙ্গে মাইক্রোফোন ও অ্যামপ্লিফায়ার যুক্ত থাকে।

(d) **রিপ্লে হেড** (Replay head): এটি পরিবর্তিত চৌম্বক ক্ষেত্র থেকে আবার পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি ক'রে লাউডস্পীকারকে সক্রিয় করে এবং ফলে শব্দ পুনরুৎপাদিত হয়।

তিনটি হেড-ই দেখতে অনুরূপ, গঠনও একইরকম। প্রত্যেকেই বলয়াকার তড়িচ্চুম্বক, প্রত্যেকেরই দুই মেরুর মধ্যে সূক্ষ্ম ব্যবধান থাকে। চিত্র 73 দেখ।

7. 12 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা. 1. একটি সাইরেনে 32টি ছিদ্র আছে। একটি সুরশলাকার কম্পাঙ্ক 512; সাইরেনের চাকতি সেকেণ্ডে কতবার আবর্তন করলে সাইরেন ও সুরশলাকার শব্দ সমান কম্পাঙ্কের হবে?

ধর, সেকেণ্ডে সাইরেনের আবর্তন সংখ্যা $=n$; ছিদ্রসংখ্যা $m=32$;

$\therefore$ সাইরেনের শব্দের কম্পাঙ্ক $=m\times n=m\times 32$

প্রশ্নানুসারে, $m\times n=512$ $\quad\therefore\; n=512/32=\mathbf{16}$

উদা. 2. 20টি ছিদ্রযুক্ত একটি সাইরেন মিনিটে 2427 বার আবর্তিত হলে কোন বদ্ধনলের মূলসুরের সঙ্গে সেকেণ্ডে 5টি স্বরকম্প উৎপন্ন হয়। নলের দৈর্ঘ্য কত? বায়ুতে শব্দের বেগ সেকেণ্ডে 1100 ফুট।

প্রতি সেকেণ্ডে সাইরেনের আবর্তন সংখ্যা $n=2427/60$

সাইরেনে ছিদ্রের সংখ্যা $m=20$

$$\therefore \text{ সাইরেনে উৎপন্ন শব্দের কম্পাঙ্ক} = mn = \frac{2427\times 20}{60} = 809$$

$$\therefore \text{ নলের মূলসুরের কম্পাঙ্ক} = 804 \pm 5 = 804 \text{ বা } 814$$

$$c = n\lambda \text{ সূত্র থেকে} \qquad \lambda = \frac{1100}{804} \text{ বা } \frac{1100}{814}$$

$$\therefore \text{ নলের দৈর্ঘ্য } l = \lambda/4 = \frac{1100}{4\times 804} \text{ ফুট বা } \frac{1100}{4\times 814} \text{ ফুট}$$

$$= \mathbf{0\,348} \text{ ফুট বা } \mathbf{0\,342} \text{ ফুট}$$

উদা. 3. কোন কম্পনশীল সুরশলাকার শলাকাদ্বয়ে লাগানো টিনের

পাতের ছিদ্র দিয়ে দেখলে মিনিটে 1800 বার আবর্তনশীল একটি স্ট্রোবোস্কোপ চাকতিকে স্থির দেখায়। ঐ চাকতিতে সমব্যবধানে 20টি ছিদ্র থাকলে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

সুরশলাকার পূর্ণ কম্পনে শলাকার ছিদ্র দুটির দু'বার উপরিপাত ঘটে।

সুরশলাকার ছিদ্র দিয়ে চাকতি স্থির দেখার অর্থ : ছিদ্র দুটির পরপর দু'বার উপরিপাতের অবকাশে প্রথম উপরিপাতের-কালে-দেখা ছিদ্রের অবস্থানে পরবর্তী ছিদ্রের উপস্থিতি।

এখন, সেকেণ্ডে চাকতির আবর্তন সংখ্যা $n=1800/60=30$

এবং চাকতিতে ছিদ্রের সংখ্যা $m=20$

∴ প্রথম ছিদ্রের অবস্থানে পরবর্তী ছিদ্রের উপস্থিতির অবকাশ

$$=\frac{1}{mn}=\frac{1}{30\times 20}=\frac{1}{600} \text{ সেকেণ্ড}$$

ধর, সুরশলাকার পর্যায়কাল T ; ∴ শর্তানুসারে $\frac{T}{2}=\frac{1}{600}$

∴ $T=1/300$ সেকেণ্ড ; ∴ কম্পাঙ্ক $n=1/T=300/$ সেকেণ্ড

অনুশীলনী

1. শব্দের উৎস বলতে কি বুঝায়? শব্দের দুটি উৎসের কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

2. সুরযুক্ত শব্দ ও সুরবর্জিত শব্দ কাকে বলে? সুরযুক্ত শব্দের বৈশিষ্ট্যগুলি কি কি?

3. সুরযুক্ত শব্দের তীক্ষ্ণতা কিভাবে নির্ণয় করা হয়?

4. শব্দের গ্রহণ ও পুনরুৎপাদন বলতে কি বোঝায়? ফোনোগ্রাফের কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। গ্রামোফোনের সঙ্গে তার পার্থক্য কি?

5. চলচ্চিত্রে শব্দ কিভাবে গৃহীত ও পুনরুৎপাদিত হয় লেখ।

6. 200 ছিদ্রের একটি সাইরেন সেকেণ্ডে 132 বার আবর্তিত হয়। সাইরেনে উৎপন্ন শব্দের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [264.00]

7. কোন সাইরেনের চাকতিতে 32টি ছিদ্র আছে। মিনিটে চাকতিটি কতবার আবর্তিত হলে সাইরেন নিঃসৃত শব্দের কম্পাঙ্ক 256 কম্পাঙ্কের সঙ্গে সমসুর হবে? [480]

8. কোন সাইরেনের চাকা মিনিটে 600 বার আবর্তিত হয়। 484 কম্পা'ঙ্কের স্বরশলাকার সঙ্গে সমস্বর হতে সাইরেনে কতগুলি ছিদ্র থাকা প্রয়োজন? [48]

9. কোন সাইরেনের চাকা মিনিটে 1500 বার আবর্তিত হলে একটি স্বরশলাকার সঙ্গে মিনিটে 60টি স্বরকম্প উৎপন্ন হয়। চাকার আবর্তন কমিয়ে মিনিটে 1495 করলে স্বরকম্পের সংখ্যা দাঁড়ায় 401; সাইরেনের চাকায় 20টি ছিদ্র থাকলে ঐ স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক কত? [499]

10. 36টি দাঁতযুক্ত কোন চাকার গায়ে একটি পোস্টকার্ড হাল্কাভাবে চেপে রাখা আছে। চাকাটি মিনিটে 1450 বার আবর্তিত হলে শব্দের কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। শব্দের বেগ = 1120 ফু'সে. [870, 1·29 ফুট]

11. 200টি ছিদ্রযুক্ত কোন সাইরেন মিনিটে 132 বার আবর্তন করে। ফলে যে শব্দ উৎপন্ন হয় তা একটি স্বরশলাকা নিঃসৃত শব্দের এক অষ্টক নিম্নে। স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক কত? (গৌহাটি বি. এস. সি. 1955) [440]

8
অষ্টম অধ্যায়
তরঙ্গরূপে আলোক
(Light as a wave phenomenon)

8.1 তরঙ্গরূপে আলোক (Light as wave)

আলোকের স্বরূপ কি? এ প্রশ্ন বহুদিন বিজ্ঞানীদের নানাভাবে ভাবিত করেছে। গ্রহণ-বর্জনের মধ্য দিয়ে ধাপে ধাপে অগ্রসর হয়ে অবশেষে আলোর স্বরূপ সম্পর্কে যে তত্ত্ব গ্রাহ্য হয়েছে তার মূল কথা: আলোকও শব্দের মত তরঙ্গবাহিত শক্তি।

আলোকের স্বরূপ ব্যাখ্যা করতে গিয়ে নিউটন আলোর কণিকা তত্ত্বের (corspuscular theory) প্রস্তাব করেছিলেন। কণিকা তত্ত্বের মূল কথা হল আলোক-উৎস থেকে চতুর্দিকে আলোক-কণিকা নিয়ত ছিটকে বেরয়। কণিকাতত্ত্বের সাহায্যে আলোর ঋজুগতি এবং প্রতিফলন সহজেই ব্যাখ্যা করা চলে; কিন্তু প্রতিসরণের ঘটনাকে ব্যাখ্যা করতে অসুবিধা দেখা দেয়। কেননা, এই তত্ত্বানুসারে ঘনতর মাধ্যমে আলোকরশ্মির অভিলম্বের দিকে বেঁকে যাওয়া ব্যাখ্যা করতে গেলে দেখা যায় যে, ঘনতর মাধ্যমে আলোক-কণিকার বেগ লঘুতর মাধ্যমে বেগের চেয়ে দ্রুত। কিন্তু পরীক্ষালব্ধ সত্য এর বিপরীত। আলোকের ঋজুগতির সাহায্যে দৈনন্দিন জীবনে পরিলক্ষিত আলোক সংক্রান্ত ঘটনাবলী—যেমন প্রতিবিম্ব গঠন,সূর্য ও চন্দ্র গ্রহণ, লেন্সের কার্যকলাপ ইত্যাদি—সহজেই ব্যাখ্যা করা যায় ('আলোক বিজ্ঞান অংশ দেখ।) কিন্তু আলোক সংক্রান্ত আরো এক ধরনের ঘটনাবলী আছে। এগুলি দৈনন্দিন জীবনে সাধারণত দেখা না গেলেও যথোপযুক্ত অবস্থায় সংঘটিত হয়। যেমন ব্যতিচার, (interference) অপবর্তন, (diffraction), সমবর্তন (polarisation) ইত্যাদি। কণিকাতত্ত্বের দ্বারা এগুলো ব্যাখ্যা করার চেষ্টা সফল হয়নি।

আলোক সংক্রান্ত সব ঘটনার ব্যাখ্যা দিতে ইংরেজ বিজ্ঞানী টমাস ইয়াং (Thomas Young) **আলোকের তরঙ্গ তত্ত্ব** (wave theory) উপস্থাপিত করেন এবং ব্যতিচার ও অপবর্তন প্রভৃতির সুন্দর ব্যাখ্যা দেন। ফ্রেনেলের কল্পিত চিত্রে আলোক ঈথার নামক সর্বদেশব্যাপী এক মাধ্যম দিয়ে প্রবাহিত **স্থিতিস্থাপক তির্যক তরঙ্গ**। আলোকের তরঙ্গ-প্রকৃতিকে সহজে মেনে নেওয়া হয়নি। আলোকের তরঙ্গ-প্রকৃতির বিরুদ্ধে মুখ্য আপত্তি ছিল যে,

স্থিতিস্থাপক-তরঙ্গ তির্যক এবং অনুদৈর্ঘ্য দুই-ই হতে পারে ; কিন্তু আলোকের ক্ষেত্রে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ কখনো আবিষ্কৃত হয় নি। তা ছাড়া, আলোকের নিরূপিত বেগের পরিমাণগত ব্যাখ্যার জন্য ঈথার মাধ্যমের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক অত্যন্ত বেশি এবং ঘনাঙ্ক খুব কম হওয়া দরকার। ফলে ঐ মাধ্যমের প্রকৃতি সম্পর্কেই স্ববিরোধিতা দেখা দেয়।

এই অসুবিধা অতিক্রম করার জন্য অনেক নূতন তত্ত্ব উপস্থিত করা হলেও যে তত্ত্বটি অবশেষে গৃহীত হয় তা হল ম্যাক্সওয়েলের (Maxwell) **তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ তত্ত্ব** (Electromagnetic wave theory)। ম্যাক্সওয়েল-কল্পিত চিত্রে আলোর সঞ্চালনের জন্য কোনরূপ মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না। এই চিত্র অনুযায়ী, আলোকরশ্মি যে পথে যায় সেই পথের বিভিন্ন বিন্দুতে তির্যকদিকে পর্যাবৃত্তভাবে পরিবর্তনশীল তড়িৎ ও চৌম্বক প্রাবল্যের সৃষ্টি হয়। আলোক এবং অন্যান্য বিকিরণ—যেমন তাপ, বেতার, এক্সরে ইত্যাদি—এ ধরনের তির্যক তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ।

8. 2 আলোকের সসীম বেগ (Finite velocity of light)

আলোক এক প্রকার তরঙ্গ এবং সকল প্রকার তরঙ্গেরই সংশ্লিষ্ট রাশিনির্ভর একটি সসীম বেগ থাকে। আলোকের বেগও সসীম ; তবে তার মান অত্যন্ত বেশি। সেকেণ্ড 186,000 মাইল বা আরও সূক্ষ্মভাবে 3×10^{10} সেমি/সে.। এই দ্রুতগতির জন্য প্রথম দিকে ভূ-পৃষ্ঠে নিরীক্ষণের সাহায্যে আলোর বেগ নির্ধারণ সম্ভব হয়নি। এজন্য কোন কোন বিজ্ঞানী আলোকের বেগ অসীম বলে মনে করতেন। কিন্তু ড্যানিশ জ্যোতিবিজ্ঞানী রোমার (Romer) বৃহস্পতির উপগ্রহ সংক্রান্ত নিরীক্ষার সাহায্যে প্রথম প্রমাণ করেন যে, আলোর বেগ সসীম এবং তার মান সেকেণ্ডে প্রায় 186,000 মাইল। পরে অন্যান্য বিজ্ঞানীরা একের পর এক উন্নততর পন্থা আবিষ্কার করে শুদ্ধতরভাবে আলোকের বেগ নির্ণয় করেন। তাত্ত্বিক আলোচনা থেকেও একথা প্রতিষ্ঠিত হয় যে, **কোন মাধ্যমে আলোকের চরম প্রতিসরাঙ্ক হচ্ছে যথাক্রমে মুক্ত দেশে (free space) এবং ঐ মাধ্যমে আলোকের বেগের অনুপাত।** অর্থাৎ

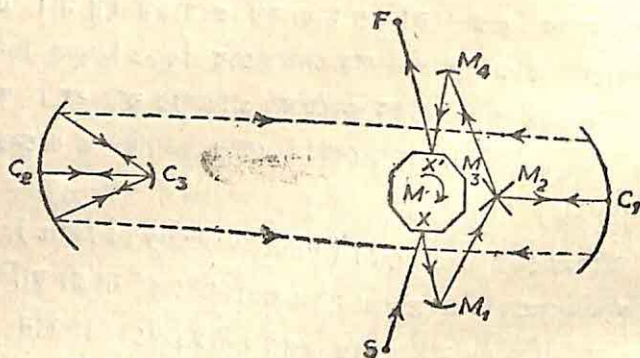
$$\text{মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক} = \frac{\text{শূন্যস্থানে আলোর বেগ}}{\text{মাধ্যমে আলোর বেগ}} \quad \text{বা,} \quad \mu = \frac{c}{v}$$

শূন্যে আলোর বেগ একটি অন্যতম ভৌত ধ্রুবক। পদার্থ বিজ্ঞানের পরবর্তী বিকাশে এই ভৌত ধ্রুবকটির মান নির্ণয়ের গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা ছিল।

8.3 আলোর বেগ নির্ণয়ঃ মাইকেলসন পদ্ধতি

(Michelson's method of finding speed of light)

আলোর বেগ নির্ণয়ের এটি একটি উল্লেখযোগ্য পদ্ধতি। নিচে ব্যবস্থাটি চিত্রায়িত করা হল।

M একটি অষ্টতল-বিশিষ্ট ঘূর্ণনক্ষম দর্পন-সমবায়। প্রতিটি তল এক একটি সমতল দর্পন। M-র ঘূর্ণন-অক্ষ চিত্রের অক্ষের সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থিত। তীব্র ও ক্ষুদ্র আলোক উৎস S থেকে আলোক অষ্টতল দর্পনের X তলে প্রতিফলিত হয়ে M_1 অবতল দর্পনে গিয়ে পড়ে। তারপর একে একে M_1 ও M_2 দর্পনদ্বয় দ্বারা

চিত্র 74

প্রতিফলিত হয়ে দীর্ঘ ফোকাস দূরত্বযুক্ত অবতল দর্পন C_1-এ পৌছয়। M_2-র অবস্থান C_1-র ফোকাসে। কাজেই C_1 দ্বারা প্রতিফলিত রশ্মি অক্ষের সমান্তরালভাবে প্রায় 22 মাইল দূরবর্তী অনুরূপ আর একটি অবতল দর্পন C_2-তে পৌছয়। C_1 ও C_2 সমাক্ষ। ফলে আলোকরশ্মি C_2-র ফোকাসে অবস্থিত আর একটি অবতল দর্পন C_3 দ্বারা প্রতিফলিত হয়ে যে পথে এসেছিল সেই পথে ফিরে যায়। এবং C_1 দর্পনে পৌছে সেখান থেকে M_2-র সঙ্গে আড়াআড়ি (90^0) বসানো M_3 সমতল দর্পনে প্রতিফলিত হয়ে M_4 অবতল দর্পনে গিয়ে পড়ে। তারপর অষ্টতল দর্পনের X' তলে প্রতিফলিত হয়ে F বিন্দুতে উৎসের একটি প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে। একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রে তা দেখা হয়।

M স্থির থাকলে দূরবীনের বীক্ষণক্ষেত্রে প্রতিবিম্বও স্থির দেখায়। কিন্তু M ঘুরতে শুরু করলে প্রতিবিম্বও বীক্ষণক্ষেত্র থেকে সরে যায়। আবর্তন বেগ ধীরে ধীরে বাড়ালে এক সময় দেখা যায় যে, প্রতিবিম্ব আবার বীক্ষণক্ষেত্রে এসে স্থির রয়েছে। এরূপ হলে বুঝতে হবে যে, আলোকরশ্মি

X থেকে যাত্রা করে X′ দর্পনে পৌছনের অবকাশে M দর্পনের একটি তল সরে গেছে এবং পরবর্তী তল ঠিক সেই স্থান দখল করেছে।

গণনা : ধর, n = অষ্টতল দর্পনের আবর্তন সংখ্যা (প্রতি সেকেণ্ডে)
c = আলোর বেগ ; D = X থেকে C_3 পর্যন্ত দুরত্ব

∴ শর্তানুসারে, $\frac{2D}{c}=\frac{1}{8n}$ ∴ $c=16nD$

স্ট্রবোস্কোপিক পদ্ধতিতে n মাপা হয়।

এই পরীক্ষায় মাইকেলসন আলোর বেগের নিম্নোক্ত মান পেয়েছিলেন।

$$c=2{\cdot}997961 0^{10} \text{ কিমি/সেকেণ্ড}$$

বর্তমান স্বীকৃত মান c (শূণ্যে) $=(2{\cdot}9986 \pm 0{\cdot}003)\times 10^{10}$ সেমি/সে.

8.4 তরঙ্গতত্ত্বে ও আলোকের বর্ণ

(Wave theory & colour of light)

তরঙ্গতত্ত্বের মতে, মুক্ত দেশে সব বর্ণের আলোই একটি নির্দিষ্ট বেগে চলে। এই বেগকে c দিয়ে চিহ্নিত করা হয়। কিন্তু বিভিন্ন বর্ণের আলোক তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিভিন্ন ; অর্থাৎ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ভিন্নতাই বর্ণের বিভিন্নতার কারণ। লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য সর্বাধিক এবং নীল আলোর সবচেয়ে কম।

তরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ, কম্পাঙ্ক n এবং বেগ c নিম্নোক্ত সমীকরণে পরস্পর যুক্ত :

$$c=n\lambda$$

নীল আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4×10^{-5} সেমি বা $4000A^0$ এবং লাল আলোকের দৈর্ঘ্য 7.2×01^{-8} সেমি বা 7200 A। ($1\ A=10^{-8}$ সেমি)। 'দৃশ্য আলোক'—এর বেগুনি প্রান্তের শেষ থেকে 5×10^{-7} সেমি সীমা পর্যন্ত ক্ষুদ্রতর দৈর্ঘ্যের তরঙ্গকে **অতিবেগুনি আলোক** (ultra-violet light) বলে। তারপর 6×10^{-10} সেমি পর্যন্ত হচ্ছে আরও ক্ষুদ্রতর দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ **এক্স রের** (x-ray) জগৎ। দৃশ্য আলোর লাল প্রান্তের ওদিকে বড় দৈর্ঘ্যের তরঙ্গের অঞ্চলের নাম পর পর **অবলোহিত** (infra red), **বেতার তরঙ্গ** (radio waves) ইত্যাদি।

8.5 আলোকের ব্যতিচার (Interference of light)

তরঙ্গের ব্যতিচার সম্পর্কে পঞ্চম অধ্যায়ে বিস্তারিত আলোচনা করা হয়েছে।

আলোও তরঙ্গ বলে তারও ব্যতিচার ঘটে। ব্যতিচারের শর্তাদিও অনুরূপ। অর্থাৎ

$$\text{পথ-পার্থক্য} = 2n\frac{\lambda}{2} \quad \text{......সৃষ্টিমূলক ব্যতিচার}$$

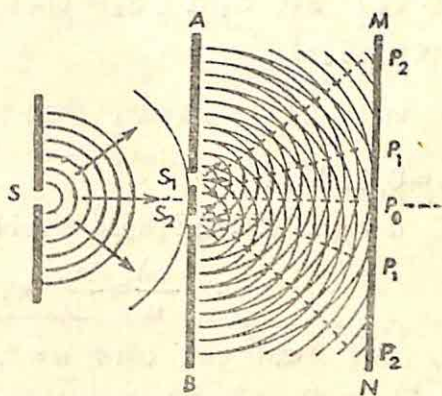
$$\text{পথ-পার্থক্য} = (2n+1)\lambda/2 \quad \text{......ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার}$$

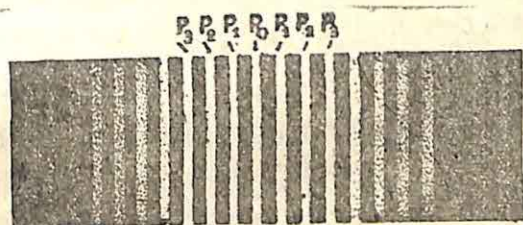
যখন দুটি সর্বাংশে অনুরূপ আলোক তরঙ্গমালা একই দিকে অগ্রসর হয়ে কোন বিন্দুতে আপতিত হয় তখন তাদের উপরিপাতে ঐ বিন্দুতে তাদের দশা অনুযায়ী সর্বাধিক বা ন্যূনতম সরণ উৎপন্ন হতে পারে। যখন তরঙ্গমালা সমদশায় উপরিপাতিত হয় তখন আলোচ্য বিন্দুতে সরণ সর্বাধিক এবং ফলে আলোর প্রাবল্যও সর্বাধিক হয়। এক্ষেত্রে ব্যতিচারকে **সৃষ্টিমূলক** (constructive) **ব্যতিচার** বলা হয়। কিন্তু আলোকের তরঙ্গমালা যদি উক্ত বিন্দুতে সম্পূর্ণ বিপরীত দশায় উপরিপাতিত হয় তবে তাদের সরণ বিপরীতমুখী হয়ে **ধ্বংসাত্মক** (destructive) **ব্যতিচার** ঘটিয়ে ঐ বিন্দুতে অন্ধকার সৃষ্টি করে।

কোন বিন্দুতে ব্যতিচারের ফলে উজ্জলতা বৃদ্ধি পাবে, না অন্ধকার সৃষ্টি হবে তা নির্ভর করে উপরিপাতিত তরঙ্গদ্বয়ের অতিক্রান্ত পথ-পার্থক্যের উপর। পথ-পার্থক্য যদি তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ-র অর্ধাংশের বিজোড় গুণিতক হয় তবে আলোচ্য বিন্দু অন্ধকার হবে। পথ পার্থক্য যদি λ-র স্বাভাবিক গুণিতক হয় তবে ঐ বিন্দু উজ্জলতর হবে।

বাস্তব ক্ষেত্রে দুটি বিভিন্ন আলোক উৎস থেকে আগত আলোক তরঙ্গের ব্যতিচার হয় না। কেননা, দুটি বিভিন্ন তরঙ্গ সর্বাংশে অনুরূপ হয় না। দুটি উৎস থেকে আগত আলোক সারাক্ষণ ধরে একই দশা বজায় রাখতে পারে না। দশার পরিবর্তন হয় বলেএই মুহূর্তে কোন বিন্দুতে উভয় তরঙ্গের সরণ বিপরীতমুখী হলেও পর মুহূর্তে তা সমমুখী হয়ে যেতে পারে। ফলে ঐ বিন্দু কখন অন্ধকারাচ্ছন্ন, কখন আলোকিত হয়ে উঠে **স্থায়ী ব্যতিচার চিত্র** (interference pattern) গড়ে উঠতে দেয় না। আলোর ব্যতিচার পরীক্ষায় তাই কোন একটি আলোক উৎস ও তার প্রতিবিম্ব অথবা ঐ উৎসের দুটি প্রতিবিম্বকে দুটি আলোক উৎস হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

ইয়ং-এর পরীক্ষা (Young's experiment) : ব্যতিচার সংক্রান্ত ইয়ং-এর পরীক্ষা ব্যবস্থাটি পরপৃষ্ঠায় চিত্রায়িত করা হল। S একটি সূচী রেখাছিদ্র।

সূর্যরশ্মি S-পথে AB পর্দায় গিয়ে পড়ে। S_1, S_2 হল AB-র উপরস্থ আরও দুটি সূচী রেখাছিদ্র। ছিদ্র দুটি দিয়ে যাওয়ার সময় গোলকাকার আলোক তরঙ্গ দ্বিধাবিভক্ত হয় এবং মাধ্যম দিয়ে অগ্রসর হওয়ার কালে পরস্পর ব্যতিচার করে। MN আর একটি পর্দা। এর উপর প্রতিসমরূপে P_0, P_1,P_2 ইত্যাদি ব্যতিচার পটি (interference bands) গঠিত হয়। পটিগুলিকে একত্রে ব্যতিচার ঝালর (interference fringes) বলে।

চিত্র 75

সূর্যরশ্মি সাদা বলে ব্যতিচার পটিগুলি বর্ণবিশিষ্ট হয়। কিন্তু একবর্ণের

চিত্র 76

আলোক নিলে পটিগুলি পরপর উজ্জ্বল (bright) ও অন্ধকার (dark) পটিরূপে দেখা দিত (চিত্র 76 দেখ)।

8.6 ব্যতিচারের সাহায্যে আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্ণয় (Determination of wavelength of light by interference)

একবর্ণ আলোকরশ্মি নিয়ে ইয়ং-এর পরীক্ষাটি কর।

ধর, λ = আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ; x = P_0 থেকে P-র দূরত্ব

P = ঝালরে যে কোন উজ্জ্বল পটির অবস্থান

P_0 = ঝালরে কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পটির অবস্থান

d = দুই রেখাছিদ্র S_1, S_2-এর ব্যবধান

D = রেখাছিদ্র ও পর্দার মধ্যবর্তী দূরত্ব

স্পষ্টত P_0-র অবস্থান S_1S_2-র লম্ব-দ্বিখণ্ডকের উপর। S_1P এবং S_2P যুক্ত কর। এবং $S_1M \perp S_2P$ টান। অতএব S_1P ও S_2P পথদ্বয়ের পার্থক্য $= S_2M$.

ব্যতিচারের শর্তানুসারে, উজ্জ্বল পটির ক্ষেত্রে, $S_2M = 2n\frac{\lambda}{2}$, $n = 0, 1, 2......$

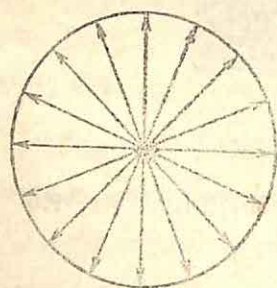
$d << D$ বলে, ΔS_1S_2M ও ΔNPP_0 ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ।

$$\therefore \quad \frac{n\lambda}{d} = \frac{x}{D} \quad \text{বা,} \ \lambda = \frac{xd}{nD}$$

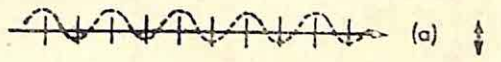
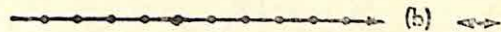
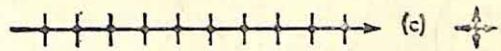
প্রথম উজ্জ্বল পটির ক্ষেত্রে $n=1$, দ্বিতীয়ের ক্ষেত্রে $n=2$ ইত্যাদি। x, d এবং D এই তিনটি দূরত্ব মেপে তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ মাপা যায়।

8.7 আলোর সমবর্তন (Polarization of light)

পঞ্চম অধ্যায়ে তরঙ্গের সমবর্তন সম্পর্কে বিশদ আলোচনা করা হয়েছে। পুনরুক্তি সত্ত্বেও এখানে সেগুলোর কিছু কিছু আবার উদ্ধৃত করা হল।

আলোর ব্যতিচার পরীক্ষার সাহায্যে একথা প্রমাণিত হয় যে, আলোক তরঙ্গবাহিত। কিন্তু এই তরঙ্গের প্রকৃতি কি—তির্যক না অনুদৈর্ঘ্য? আলোক তরঙ্গ তির্যক তরঙ্গ; এখানে কম্পনের অভিমুখ তরঙ্গের গতির আড়াআড়ি। কিন্তু কোন সরলরেখার আড়াআড়ি দিক বলতে প্রকৃত পক্ষে ঐ রেখার সঙ্গে আড়াআড়ি অবস্থিত তলের যে সব রেখা ঐ রেখাকে ছেদ করে তাদের সবগুলিকেই বোঝায়। যেমন পার্শ্বস্থ চিত্রে বৃত্তের কেন্দ্রগামী ও পৃষ্ঠার তলের সঙ্গে লম্বরেখা যদি আলোর গতিমুখ হয় তবে তীরচিহ্নিত প্রতিটি রেখাই গতিমুখের আড়াআড়ি। সাধারণ আলোকের তরঙ্গে কম্পনের অভিমুখ আড়াআড়ি তলে অনবরত দিক পাল্টায়। আলোর কম্পন যদি দৃশ্যমান হতো তবে আলোর অভিমুখের বিপরীত দিকে তাকালে অনেকটা সাইকেলের চাকার স্পোক-এর (spoke) সমষ্টির মত দেখাতো। সাধারণ আলোর একটি গুচ্ছে এই রকম অসংখ্য তরঙ্গ থাকে। এরা প্রত্যেকে তাদের নিজ নিজ কম্পনতলে কম্পিত হয়। এ রকম আলোককে

চিত্র 77

অসমবর্তী আলোক গুচ্ছ (unpolarized light) বলে। কিন্তু কোনভাবে যদি আলোকের অভিমুখের সাপেক্ষে আলোক তরঙ্গের কম্পন সারাক্ষণ একটি নির্দিষ্ট আড়াআড়ি দিকে করানো যায় তবে ঐ আলোককে **সমবর্তী আলোক** (polarized light) বলে।

কাগজের তলে সমবর্তী ও অসমবর্তী আলো আঁকার একটি স্বীকৃত প্রথা আছে। যদি সমবর্তী আলোর স্পন্দন কাগজ-তলে হয় তবে তা বোঝানোর জন্য গতিমুখের অভিলম্বে ছোট ছোট রেখা আঁকা হয়। চিত্র 78 (a)-তে এই ধরনের একটি সমবর্তী আলোকতরঙ্গ বাঁ থেকে ডানে অগ্রসরমান। তরঙ্গজ্ঞাপক ভাঙ্গা ভাঙ্গা রেখাটি সাধারণত আঁকা হয় না। কিন্তু সমবর্তী আলোর স্পন্দন কাগজ-তলের অভিলম্বে হলে তা বোঝানোর জন্য গতিমুখ বরাবর কতকগুলি ফুটকি আঁকা হয়। চিত্র 78 (b) দেখ।

(a)

(b)

(c)

চিত্র 78

সাধারণ অসমবর্তী আলোকগুচ্ছে তরঙ্গের গতিমুখের অভিলম্ব তলে সব দিকেই কম্পন ঘটে। কিন্তু উপাংশে বিভাজন করে ঐ সব স্পন্দনকে পরস্পর সমকৌণিক দুটি স্পন্দনের সমষ্টি বলে ধরা যায় এজন্য, অসমবর্তী আলোকরশ্মি অঙ্কনে ফুটকি এবং ছোট রেখা একই সঙ্গে ব্যবহৃত হয়।

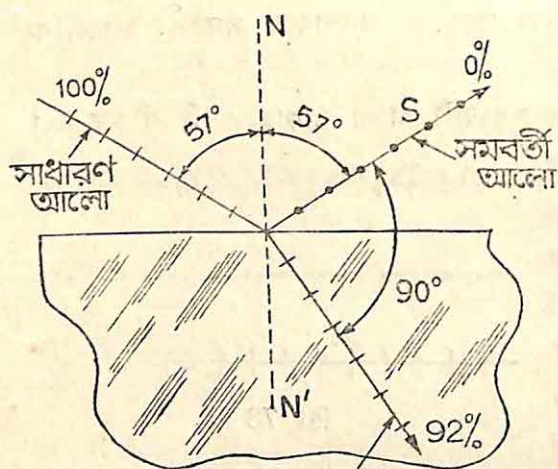
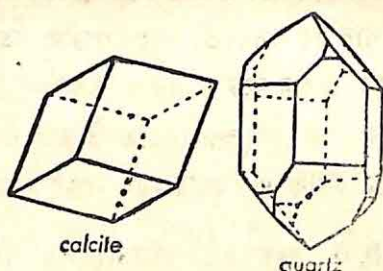
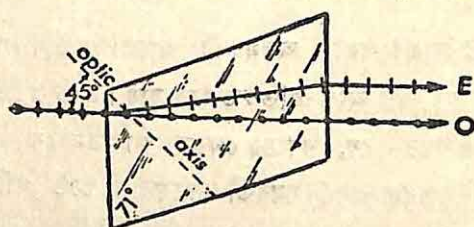
8.8 অসমবর্তী আলোককে সমবর্তী করা
(Methods of polarisation of light)

শব্দের ক্ষেত্রে আমরা দেখেছি, অসমবর্তী শব্দ তরঙ্গকে কোন স্লিট (slit) দিয়ে পাঠিয়ে স্লিটের দৈর্ঘ্যের সমান্তরাল দিকে সমবর্তী করা যায়। অসমবর্তী আলোক তরঙ্গকেও নানাভাবে সমবর্তী করা চলে। যেমন:

(i) **প্রতিফলনের সাহায্যে:** অসমবর্তী আলো দর্পণে পতিত হলে একটা অংশ প্রতিফলিত হয়, অন্য অংশ প্রতিসৃত হয়ে যায়। ব্রুস্টার (Brewster) পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করেন যে, কাচের ক্ষেত্রে আপতন কোণ যখন 57° হয়, প্রতিফলিত রশ্মিটি তখন সম্পূর্ণ সমবর্তী তরঙ্গের রশ্মিতে পরিণত হয়।

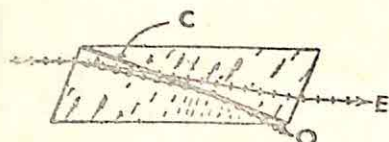
ঐ আপতন কোণকে **সমবর্ত কোণ** (angle of polarisation) বলে। প্রত্যেক মাধ্যমের সমবর্ত কোণ নির্দিষ্ট। (চিত্র 89 দেখ)।

চিত্র 89

(ii) **নিকল প্রিজম দ্বারা :** কোন কোন কেলাস আছে যেমন ক্যালসাইট, কোয়ার্জ ইত্যাদি যাদের মধ্যে আলোকের **দ্বৈত প্রতিসরণ** (double refraction) হয়।

কিন্তু দ্বৈত প্রতিসরণ কি ? ক্যালসাইট একটি স্বচ্ছ কেলাস। একটি কাগজে কালির ফুটকি এঁকে কেলাসের ভিতর দিয়ে ফুটকিটি দেখ। ফুটকির দুটি প্রতিবিম্ব দেখবে। কিন্তু ক্যালসাইটের বদলে কাচের ব্লকের ভিতর দিয়ে দেখলে একটি প্রতিবিম্ব দেখবে। দুটি প্রতিবিম্ব দুটি পৃথক নির্গমরশ্মি সূচিত করছে। কেলাসে প্রতিসরণ কালে একটি রশ্মির দুটি রশ্মিতে বিভাজনের এই ঘটনার নাম **দ্বৈত প্রতিসরণ**। রশ্মি দুটির একটিকে বলা হয় **সাধারণ রশ্মি** (ordinary ray), অন্যটিকে **অ-সাধারণ রশ্মি** (extra-ordinary ray)। প্রথমটি প্রতিসরণের সূত্র মেনে চলে ; দ্বিতীয়টি চলে না। উভয়েই সমবর্তী—ওদের স্পন্দনতল পরস্পর সমকোণে অবস্থিত।

চিত্র 80

চিত্র 81

এই ধরনের অসমসারক (anisotropic) মাধ্যমের দ্বারা নিকল প্রিজম নামক একপ্রকার প্রিজম তৈরী করা যায়। এর উপর আপতিত হলে অসমবর্তী আলোক তরঙ্গ E এবং O রশ্মিরূপে সমবর্তী হয়ে নিষ্ক্রান্ত হয়।

নিকল প্রিজম ঃ প্রস্থের চেয়ে দৈর্ঘ্য প্রায় তিনগুণ এরূপ রম্বাকৃতি ক্যালসাইট থেকে নিকল প্রিজম তৈরী করা হয়। প্রাকৃতিক কেলাসকে যথোপযুক্তভাবে কেটে পালিশ করা হয় এবং উপযুক্ত তল বরাবর কেটে দুই টুকরো করা হয়। কাটামুখকে ঘষে পালিশ করে ক্যানাডা বালসাম (Canada balsam) আঁঠার সাহায্যে আবার জুড়ে দেওয়া হয়। এই আঁঠার প্রতিসরাঙ্ক সাধারণ রশ্মির ক্ষেত্রে ক্যালসাইটের প্রতিসরাঙ্কের চেয়ে কম, কিন্তু অ-সাধারণ রশ্মির ক্ষেত্রে প্রতিসরাঙ্কের চেয়ে বেশি। এর ফলে O রশ্মি ক্যানাডা বালসামস্তরে পূর্ণ প্রতিফলিত হয়। E রশ্মি সরাসরি প্রতিসৃত হয়ে নিষ্ক্রান্ত হয়।

C E O

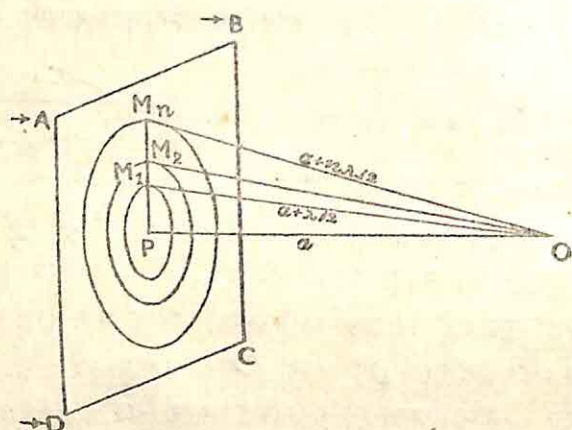
চিত্র 82

8.9 তরঙ্গতত্ত্বে আলোকের ঋজুগতির ব্যাখ্যা
(Rectilinear propagation by wave theory)

আলোর তরঙ্গতত্ত্বের সাহায্যে আলোর ঋজুগতি ব্যাখ্যা করা চলে। মনে কর, ABCD একটি একবর্ণ সমতল তরঙ্গমুখ (monochromatic plane wavefront) অর্থাৎ এই তলের সমস্ত কণার কম্পনের দশা সমান। তরঙ্গমুখটি পৃষ্ঠার তলের সঙ্গে লম্বভাবে P থেকে O অভিমুখে যাচ্ছে। চিত্রে O থেকে a দূরত্বে তরঙ্গমুখের অবস্থান দেখান হল। আমরা O বিন্দুতে এর দরুন উৎপন্ন আলোক প্রাবল্য নির্ণয় করব।

O থেকে ABCD-র উপর PO লম্ব ফেল। মনে কর $OP=a$; এবার O-কে কেন্দ্র করে $a+\frac{\lambda}{2}, a+\frac{2}{2}\lambda, a+\frac{3\lambda}{2}$ ইত্যাদি ব্যাসার্ধের উৎপাদক রেখা (generating line)-র সাহায্যে ABCD-র উপর কতকগুলি বৃত্ত আঁক। বৃত্তগুলি ABCD তরঙ্গমুখকে অনেকগুলো, অঞ্চলে বিভক্ত করল। ধর, এদের দ্বারা O বিন্দুতে, d_1, d_2, d_3···ইত্যাদি সরণ উৎপন্ন হয়। কিন্তু পাশাপাশি দুটি অঞ্চল থেকে আসা তরঙ্গমালা O বিন্দুতে পৌছতে $\lambda/2$ পথ-পার্থক্য সৃষ্টি হয়। ফলে তাদের দশা পরস্পর বিপরীত। সুতরাং O বিন্দুতে লব্ধি সরণ $D=d_1-d_2+d_3-d_4+\ldots$ইত্যাদি।

কিন্তু $d_1, d_2,$ d_3 ইত্যাদির মান ক্রম-হ্রাসমান এবং হ্রাসের পরিমাণ নিতান্তই সামান্য। তাই ধরা যায়ঃ

$$\frac{d_1+d_3}{2}=d_2\ ;\quad \frac{d_3+d_5}{2}=d_4\ ;\ \ldots\text{ইত্যাদি।}$$

চিত্র 83

$$\text{কাজেই}\ \ D=\frac{d_1}{2}+\left(\frac{d_1}{2}-d_2+\frac{d_3}{2}\right)+\left(\frac{d_3}{2}-d_4+\frac{d_5}{2}\right)$$

$$+\left(\frac{d_5}{2}-d_6+\frac{d_7}{2}\right)+\ldots$$

$$=\frac{d_1}{2}+\frac{d_n}{2}\quad=\frac{d_1}{2}$$ (n খুব বড় বলে d_n খুব ছোট)

অতএব O বিন্দুতে লব্ধি সরণ তরঙ্গমুখের P বিন্দুর নিকটস্থ অঞ্চল যে সরণ সৃষ্টি করে তার অর্ধেক। অন্যান্য অঞ্চলের দ্বারা উদ্দীপিত সরণ পরস্পর বিনষ্ট হয়ে যায়, অর্থাৎ তাদের দরুন সেখানে সরণ প্রায় শূন্য। আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য খুব ছোট। P বিন্দুর সামনে একটি ক্ষুদ্র অস্বচ্ছ বস্তু ধরলে সেটি অনেকগুলি অঞ্চলকে ঢেকে ফেলবে এবং বাকী অঞ্চলগুলি O বিন্দুতে প্রকৃতপক্ষে অনুভবযোগ্য কোন সরণ উদ্দীপিত করতে পারবে না। ফলে O বিন্দুতে কোন আলোক পৌছবে না। কাজেই বলা যায় যে, মোটামুটি ভাবে আলোক P বিন্দু থেকে PO সরলরেখা বরাবর O বিন্দুতে পৌছয়।

8.10 কষে দেওয়া উদাহরণ (Illustrative examples)

উদা 1. মাইকেলসনের পরীক্ষায় অষ্টতল প্রতিফলকটি সেকেণ্ডে 528 বার আবর্তিত হয় এবং ফলে পার্শ্ববর্তী তল থেকে প্রতিফলনের জন্য প্রতিবিম্বকে প্রাথমিক অবস্থানে দেখা যায়। বায়ুতে আলোর বেগ 3×10^{10} সেমি/সে. হলে প্রধান দুই দর্পণের দূরত্ব কত? **(কলিঃ বি. এস. সি. 1971)**

এখানে $c=3\times10^{10}$ সেমি/সে, $n=528$ এবং নির্ণেয় দূরত্ব $=D$.

$c=16\,nD$ সূত্র থেকে $D=c/16n$

$\therefore D=3\times10^{10}/16\times528=35{\cdot}5\times10^5$ সেমি

$=$**25·5 কিলোমিটার**

উদা. 2. বায়ুর চরম প্রতিসরাঙ্ক 1·00029 এবং বায়ুতে আলোর বেগ 3×10^{10} সেমি/সে. ; শূন্যে আলোর বেগ কত? **(কলিঃ বি. এস. সি. 1966)**

$$\text{বায়ুর } \mu=\frac{\text{শূন্যে আলোর বেগ}}{\text{বায়ুতে আলোর বেগ}}$$

$\therefore$ শূন্যের আলোর বেগ $=$ বায়ুর $\mu\times$ বায়ুতে বেগ

$=1{\cdot}00029\times3\times10^{10}$

$=$**$3{\cdot}00087\times10^{10}$ সেমি/সে.**

উদা. 3. ইয়ং-এর পরীক্ষায় দুই রেখাছিদ্রের দূরত্ব 0.1 মিমি এবং রেখাছিদ্র থেকে পর্দার দূরত্ব 50 সেমি ছিল। 5000 A তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের একবর্ণ আলো ব্যবহার করলে পর্দার উপর উজ্জ্বল কেন্দ্রীয় পটি থেকে প্রথম উজ্জ্বল পটির দূরত্ব কত? **(কলিঃ বি. এস. সি 1970)**

এখানে $d=0.1$ মিমি $=0{\cdot}01$ সেমি ; $D=50$ সেমি

$\lambda=5000\text{A}=5000\times10^{-8}$ সেমি, $n=1$

$\therefore \lambda=\dfrac{xd}{n\text{D}}$ সূত্র থেকে, $x=\dfrac{\lambda n\text{D}}{d}=\dfrac{5000\times10^{-8}\times1\times50}{0{\cdot}01}$

$=$**0·25 সেমি**

অনুশীলনী

1. আলোকের তরঙ্গতত্ত্বের উদ্ভব কিভাবে ঘটলো? তরঙ্গতত্ত্বের ক্রমবিকাশের পরিচয় দাও।

2. শূন্যে আলোর বেগ কত? আলোর বেগ নির্ণয়ের একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর। প্রতিসরাঙ্ক ও আলোর বেগের সম্পর্ক কি?

3. বিভিন্ন বর্ণের আলোর কারণ কি? অতিবেগুনি ও অবলোহিত আলো বলতে কি বোঝ?

4. আলোকের ব্যতিচার কি? ব্যতিচারের শর্ত কি কি? ব্যতিচারের জন্য প্রয়োজনীয় দুটি আলোক উৎস কিভাবে জোগার করা হয়?

5. ব্যতিচার সংক্রান্ত ইয়ং-এর পরীক্ষাটি বর্ণনা কর। কি করে এর সাহায্যে আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য মাপবে?

6. সমবর্তন বলতে কি বোঝায়? কি করে আলোর সমবর্তন ঘটাবে?

7. তরঙ্গতত্ত্ব থেকে আলোকের ঋজুগতি ব্যাখ্যা করা কি সম্ভব?

8. সংজ্ঞা লেখ: সমবর্ত কোণ, দ্বৈত প্রসারণ, সমবর্তী আলো, নিকল প্রিজম, সাধারণ ও অ-সাধারণ রশ্মি।

বিষয়সূচী

বলবিদ্যা

পদার্থের সাধারণ ধর্ম

তাপবিজ্ঞান

West Bengal Higher Secondary Council

H. S. (+2), 1978

PHYSICS

(First Paper)

প্রত্যেক বিভাগ হইতে অন্ততঃপক্ষে তিনটি প্রশ্নের উত্তর দাও। মোট সাতটি প্রশ্নের উত্তর দাও।

ক বিভাগ

1. (a) গতিসংক্রান্ত নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রটি লেখ। দেখাও এই সূত্রটি হইতে কিভাবে বলের একক পাওয়া যায় যখন ভরের একক 1 kg এবং ত্বরণের একক $1\ m/s^2$। বলের এই এককের নাম কি?

(b) 1 kgর ওজনকে বলের MKS এককে প্রকাশ কর।

(c) সরলপথে একটি ট্রেন ছুটিতেছে; সময়ের সহিত উহার বেগের পরিবর্তনের লেখচিত্র নীচের ক্ষেত্র দুটিতে কিরূপ হইবে তাহা বুঝাইয়া দাও।

(i) ট্রেণটি সুসম ত্বরণে ছুটিতেছে;

(ii) ট্রেণটির ত্বরণ বাড়িয়া চলিয়াছে। 6+2+2

2. (a) গতিশক্তির সংজ্ঞা দাও। m ভরের একটি কণা v বেগে চলিতে থাকিলে তাহার গতিশক্তি কত হইবে হিসাব করিয়া দেখাও।

(b) 100 g ভরের একটি বস্তুকে 100 m উঁচু একটি মিনারের উপর হইতে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। বস্তুটির গতিশক্তি

(i) ছাড়িয়া দেওয়ার এক সেকেণ্ড (one second) পরে কত হইবে এবং

(ii) মিনারের গোড়ার পৌঁছিবার মুহূর্তে কত হইবে তাহা হিসাব কর।

(c) একটি লোক এক বালতি জল হাতে লইয়া একটি লিফ্‌টে করিয়া উপরে উঠিতেছে। বুঝাইয়া দাও

(i) লোকটি জলের বালতির উপর কোন কার্য করিতেছে কি না, এবং

(ii) জলের বালতির শক্তি অপরিবর্তিত থাকিবে কি না। 4+4+2

3. (a) 'অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বল' বলিতে কি বোঝায় ব্যাখ্যা কর।

(b) অভিকেন্দ্র বলের মান নির্ণয় কর।

(c) এক সাইকেল আরোহী ঘণ্টায় 13 কি. মি. বেগে 20 মি. ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে চলিতেছে। উল্লম্ব হইতে উহার গতির পরিমাণ কি ? (মনে কর যে আরোহী সমেত সাইকেলটি সমতলে আছে) 2+4+4

অথবা

(a) বস্তুর স্থিতিস্থাপকতা ও 'স্থিতিস্থাপক সীমা' বলিতে কি বোঝায় ? স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্কের সংজ্ঞা ও বিভিন্ন প্রকৃতির স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক ব্যাখ্যা কর।

(b) 1 মিঃ লম্বা ও 1 মি. মি. ব্যাসার্ধের একটি উল্লম্ব (খাড়া) তারের একপ্রান্তে 5 কেজি ভর ঝুলন্ত আছে। তারের বস্তুটির ইয়ং গুণাঙ্ক $2{\cdot}0 \times 10^{12}$ ডাইন/বর্গ সে.মি. হইলে ঝুলন্ত ওজন ব্যতীত তারটির দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। 6+4

4. (a) সেকেণ্ড দোলক বলিতে কি বোঝ ? কোন স্থানে g এর মান 980 সে. মি./সেকেণ্ড^2 হইলে ইহার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(b) নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে দোলকের দোলনকাল পরিবর্তিত হইবে কিনা তাহা বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর :

(i) যদি ঘন পিণ্ডের বদলে ফাঁপা পিণ্ড নেওয়া হয়।

(ii) যদি ফাঁপা পিণ্ডটি জলদ্বারা আংশিকভাবে ভর্তি থাকে।

(iii) যদি দোলকটি পর্বত-চূড়ায় লইয়া যাওয়া হয়।

(c) একটি কৃত্রিম উপগ্রহ পৃথিবীর চারদিকে ভূপৃষ্ঠ হইতে 400 কি.মি. উপরে বৃত্তাকারে ঘুরিতেছে। পৃথিবীর ব্যসার্ধ 6000 কি.মি. এবং ভূপৃষ্ঠে g এর মান 980 সে.মি./সেকেণ্ড^2 হইলে উপগ্রহটির গতিবেগ নির্ণয় কর। 3+3+4

5. (a) ব্যাখ্যা কর—কেন এক টুকরা লোহা (আপেক্ষিক গুরুত্ব 7·8) জলে ডুবিয়া যায় কিন্তু পারদে (আপেক্ষিক গুরুত্ব 13·6) ভাসে। তোমার ব্যাখ্যার জন্য যে সূত্রটির প্রয়োজন তাহা লেখ।

(b) লোহাটি পারদে ভাসিবার কালে তাহার মোট আয়তনের কত অংশ পারদের মধ্যে ডুবিয়া থাকিবে তাহা হিসাব কর।

(c) তরল পদার্থের চাপ সঞ্চালন সংক্রান্ত প্যাসকালের সূত্রটি বিবৃত কর। 4+4+2

6. (a) বায়ুমণ্ডলের চাপ আছে তাহার প্রমাণ একটি পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

(b) কোন স্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ 760 মি. মি. পারদস্তম্ভের সমান—ইহা বলিতে কি বুঝায়? এই চাপের পরিমাণ সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে নির্ণয় কর (g এর মান 980 সি. জি. এস্ একক এবং পারদের ঘনত্ব 13.6 গ্রাম/সি. সি)।

(c) সাইফনের কার্যপ্রণালী সংক্ষেপে বুঝাইয়া দাও। 3+4+3

খ বিভাগ

7. (a) কঠিন পদার্থের 'দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক' এর সংজ্ঞা লিখ।

(b) একটি কঠিন পদার্থের 'দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক' ও 'আয়তন প্রসারণ গুণাংক' এর মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় কর।

(c) একটি ইস্পাতের স্কেল 68°F তাপমাত্রায় ত্রুটিহীন। ইহার সাহায্যে 50^0 C তাপমাত্রায় একটি পিতল-দণ্ডের দৈর্ঘ্যের মাপ 1·5 মিটার। 50°C এ দণ্ডটির প্রকৃত দৈর্ঘ্য কত তাহা নির্ণয় কর (ইস্পাতের দৈর্ঘ্য প্রসারণ গুণাংক $11{\cdot}2\times10^{-6}$ প্রতি ^{0}C)। 2+4+4

8. (a) তরলের আপাত ও প্রকৃত প্রসারণ বলিতে কি বোঝায়? ভার থার্মোমিটার দ্বারা তরলের কোন্ প্রসারণ নির্ণয় করা হয়?

(b) প্রণালীটির বিবরণ দাও।

(c) জমিয়া যাওয়া হ্রদের মধ্যে মাছেরা কিভাবে বাঁচিয়া থাকে?

4+5+1

অথবা

(a) স্বাভাবিক ও পরবশ বা প্রণোদিত কম্পন বলিতে কি বোঝ?

(b) প্রণোদিত কম্পন ও অনুনাদের মধ্যে পার্থক্য দেখাও।

(c) ঝোলান সেতু অতিক্রম করিবার সময় পদাতিক সৈন্যদের পদক্ষেপ বিছিন্ন রাখিতে বলা হয় কেন?

(d) বেহালা বাদ্যযন্ত্রে ফাঁপা বাক্সের প্রয়োজনীয়তা কি? 2+4+2+2

9. (a) একটি বস্তুর তাপধারকতা (তাপগ্রাহিতা) বলিতে কি বোঝ? ইহার সহিত বস্তুটির জলসমের পার্থক্য কোথায়?

(b) একটি মিশ্র ধাতুর মধ্যে 60% তামা এবং 40% নিকেল আছে। ঐ মিশ্র ধাতুর 50 g ওজনের একটি টুকরাকে 80^0C পর্যন্ত উত্তপ্ত করিয়া 10 g জলসমবিশিষ্ট একটি ক্যালরিমিটারের মধ্যে ফেলিয়া দেওয়া হইল। ক্যালরিমিটারের মধ্যে 10^0C উষ্ণতায় 90 g জল ছিল। মিশ্রণের ফলে চরম উষ্ণতা

কত হইবে বাহির কর (তামার অপেক্ষিক তাপ = 0·09 এবং নিকেলের আপেক্ষিক তাপ = 0·11)।

(c) সমুদ্রবায়ুর সৃষ্টিতে জলের আপেক্ষিক তাপের গুরুত্ব কি ? 3+5+2

10. (a) বুঝাইয়া দাও : কেন স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপের চেয়ে বেশী।

(b) তাপ-অপরিবাহী বস্তুর দ্বারা তৈরী একটি নলের মধ্যে 800 g সীসার গুলি ভর্তি করিয়া নলের দুই মাথা বন্ধ করা হইয়াছে। নলটি 1 m লম্বা ও তাহাকে উল্লম্বভাবে ধরা আছে। নলটিকে হঠাৎ উল্টানো হইল যাহার ফলে সীসার গুলি কয়টি এক মাথা হইতে অন্য মাথায় আসিয়া পড়িল। 50 বার এই রকম উল্টানোর ফলে দেখা গেল যে, সীসার গুলির উষ্ণতা 3·89°C বাড়িয়াছে। উৎপন্ন তাপ সম্পূর্ণভাবে সীসায় রহিয়াছে ধরিয়া লইয়া তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংকের মান বাহির কর (সীসার আপেক্ষিক তাপ = 0·03)।

(c) তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র কি ? 3+5+2

11. (a) গ্যাসের গতীয় তত্ত্বের (Kinetic theory) মৌলিক অঙ্গীকার (স্বীকার্য) বিবৃত কর।

(b) গতীয় তত্ত্ব অনুসারে গ্যাসের চাপ ও তাপমাত্রার ধারণা আলোচনা কর। 5+5

অথবা

(a) গ্যাসের মধ্যে শব্দের বেগ সংক্রান্ত নিউটনের সমীকরণটির লাপলাস যে সংশোধন করিয়াছিলেন তাহা কী বলো। ঐ সংশোধন কি জন্য দরকার ?

(b) সুস্বরের (musical sound-এর) বৈশিষ্ট্যগুলি আলোচনা কর। সুস্বরের জাতি বা কোয়ালিটি কিসের উপর নির্ভর করে ? 5+5

12. (a) তরঙ্গগতি সম্পর্কে নিম্নের শব্দগুলির সংজ্ঞা লিখ :

(i) তরঙ্গদৈর্ঘ্য (ii) কম্পাঙ্ক (iii) বিস্তার

(b) স্থাণু-তরঙ্গ বলিতে কি বোঝায় ? একটি সরল পরীক্ষাদ্বারা ইহার উৎপত্তির বর্ণনা দাও।

(c) স্বরকম্প কিভাবে সৃষ্ট হয় তাহা আলোচনা কর। 3+4+3

Tripura Board of Secondary Education

H.S. (+2), 1978

PHYSICS (THEORETICAL)

FIRST PAPER

Time—3 hours　　　　Full marks—80

The figures in the margin indicate marks for each question

১নং প্রশ্নের এবং অন্য যে-কোনও পাঁচটি প্রশ্নের উত্তর করিতে হইবে

১। টীকা লিখ—　　৫×৪

(ক) পাস্কেলের সূত্র অথবা অবাত-পাম্প।

(খ) ডপলার তত্ত্ব অথবা রেনোর হাইগ্রোমিটার।

(গ) জাড্য অথবা কক্ষে ঘূর্ণ্যমান উপগ্রহের ভারশূন্যতা।

(ঘ) ব্রাউনীয় গতি অথবা স্বরসমৃদ্ধ শব্দ।

২। (ক) সংজ্ঞা লিখ—কার্য, ক্ষমতা ও শক্তি।　　৩

(খ) এফ পি এস্ পদ্ধতিতে তাদের একক লিখ।　　৩

(গ) গতিশক্তি এবং স্থিতিশক্তি বলিতে কি বুঝায়?　　৫

(ঘ) "5 অশ্বশক্তিবিশিষ্ট একটি গাড়ী" বলিতে কি বুঝায়?　　১

৩। (ক) ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের মধ্যে পার্থক্য দেখাও।　　২

(খ) আর্কিমেডিসের সূত্র লিখ এবং তাহার প্রমাণ বর্ণনা কর।　　৬

(গ) বায়ুতে 41·08 গ্রাম ওজনের একখণ্ড বস্তু জলে সম্পূর্ণ ভাবে নিমজ্জিত করিলে 25·28 গ্রাম ওজন হয়। উহার আয়তন এবং ঘনত্ব নির্ণয় কর।　　৪

৪। সংজ্ঞা লিখ—ইয়ং গুণাঙ্ক, আয়তন গুণাঙ্ক এবং দৃঢ়তা গুণাঙ্ক। উহাদের একক লিখ।　　৩+৩

(খ) পয়সনের অনুপাতের সর্বনিম্ন মান কত?　　১

(গ) একটি সমব্যাসসম্পন্ন স্টীলের তারের দৈর্ঘ্য 250 সেমি, ভর 16 গ্রাম, ঘনত্ব 7·8 গ্রাম/সিসি। ইহার 1·8 মিমি দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করিতে যদি 12 কেজি ভরের প্রয়োজন হয় তাহা হইলে উহার ইয়ং গুণাঙ্ক কত হইবে?　　৫

অথবা,

(ক) বলের ভ্রামকের সংজ্ঞা লিখ। উহার একক কত?　　৩

(খ) বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করা সত্ত্বেও উহার ভ্রামক কখন (*i*) শূন্য (*ii*) সর্বোচ্চ হয়? ৩

(গ) কোন সাইকেল-আরোহী R ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে V দ্রুতিতে সাইকেল চালাইয়া ভূমির সহিত A কোণে হেলিয়া থাকে। দেখাও যে, $\tan A = gR/V^2$ g= অভিকর্ষজ ত্বরণের মান। ৬

৫। (ক) সরল দোলগতি কি? ২

(খ) সরল দোলকের দোলনকালের সূত্র নির্ণয় কর। ৬

(গ) একটি ফাঁপা গোলকীয় দোলকপিণ্ডের ভিতরে যদি পারদ দিয়া (*i*) সম্পূর্ণভাবে ভর্তি করা যায়, (*ii*) অর্ধেকটা ভর্তি করা যায়, তবে দোলনকালের কোন পরিবর্তন হইবে কি?—ব্যাখ্যা কর। ৪

৬। (ক) চার্লসের ও বয়েলের সূত্র লিখ। ৪

(খ) বয়েলের সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ বর্ণনা কর। ৬

(গ) উষ্ণতার চরম স্কেল কি? ২

৭। (ক) ক্যালরি ও বৃটিশ থার্মাল একক কি? উহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ কি? ২+২

(খ) ক্যালরিমিটারের সাহায্যে কঠিনের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়ের পদ্ধতি বর্ণনা কর। ৫

(গ) 50^0C উষ্ণতার 30 গ্রাম জল, 15°C উষ্ণতার ক্যালরিমিটারে ঢালিলে উহাদের উষ্ণতা 20°C হয়। ক্যালরিমিটারের জলসম কত? ৩

৮। (ক) শব্দের তরঙ্গ-কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কি? তরঙ্গ-বেগের সহিত ইহাদের সম্বন্ধ কি? ৬

(খ) একটি কম্পাঙ্ক-জানা স্বরশলাকার সাহায্যে বায়ুস্তম্ভের অনুনাদ সৃষ্টি দ্বারা শব্দের বেগ কিরূপে নির্ণয় করা যায়—বুঝাইয়া দাও। ৬

৯। (ক) তরঙ্গের উপরিপাতন বলিতে কি বুঝ? স্থাণু তরঙ্গ কাহাকে বলে? ২+১

(খ) দেখাও যে, স্থাণু তরঙ্গের সমীকরণ $x = A \sin 2\pi Vt/\lambda$ আকারে লেখা যাইতে পারে। ৫

(গ) চল তরঙ্গের সহিত স্থাণু তরঙ্গের প্রভেদ কি? ৪